

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Інтелектуальні системи управління
в гірничо-металургійному виробництві»
за спеціальністю 151 Автоматизація
і комп'ютерно-інтегровані технології

на тему «АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики»

Керівник роботи

Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

Консультант від бази
практики

Валерій ЛЮБІМКІН

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач

Віталій НІКУЛІН

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Андрій ЛЕОНОВ

Кам'янське 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>автоматизації виробництва та цифрових технологій</u>
Кафедра	<u>автоматизації, електро- та робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>151 Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології</u>
ОПП	<u>Інтелектуальні системи управління в гірничо-металургійному виробництві</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

«24» листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Нікуліну Віталію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики
керівник роботи Мірошниченко Вікторія Ігорівна, канд. техн. наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023
2. Термін подання роботи 10.01.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, результати власних експериментів та досліджень тощо
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції). 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи управління та сигналізації технологічних параметрів (Основні задачі АСУТП, концепція роботи системи, обґрунтування та вибір технічних рішень). 3. Реалізація запропонованої системи (3.1. Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації, 3.2. Проєктування САР продуктивності млина, 3.3. Математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення окремих задач системи). 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема функціональна автоматизації. Схема структурна комплексу технічних засобів. Блок-схеми алгоритмів керування та програмного забезпечення. Результати розрахунків

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта

7. Дата видачі завдання 24.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури комп'ютерної системи управління	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Реалізація запропонованої системи автоматизації	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи автоматизації	03.01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.2024 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач

(Нікулін В. О.)

Керівник роботи

(Мірошніченко В. І.)

АНОТАЦІЯ

Нікулін Віталій Олександрович. АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». ОПП «Інтелектуальні системи управління у гірничо-металургійному виробництві» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кам'янське, 2024.

Об'єктом дослідження є АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики.

Предметом дослідження є автоматизація систем керування технологічними процесами здрібнювання та збагачення руд на гірничо-збагачувальних комбінатах АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики.

У першому розділі проаналізована предметна область автоматизації рудозбагачувальної фабрики. Розглянуті наявні системи автоматизації, проаналізовані варіанти постановки задач автоматизації та визначений оптимальний напрямок автоматизації. Сформульована невирішена частина проблеми, яку планується досліджувати та вирішувати в рамках кваліфікаційної роботи.

У другому розділі надана загальна характеристика технологічного процесу, проведено аналіз технологічного процесу як об'єкту автоматизації, визначені задачі управління об'єктом, задачі автоматичного контролю та регулювання відповідних технологічних параметрів, обґрунтовано вибір структури системи автоматизованого управління та технічних засобів для всіх рівнів автоматизації, наведено опис взаємозв'язку функціональних задач АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики.

У третьому розділі обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації для визначених технологічних параметрів, спроектовано САР; з використанням програмного продукту TIA Portal розроблено програмне забезпечення контролера Siemens для систем регулювання технологічними параметрами секції рудозбагачувальної фабрики. На підставі даних, що характеризують технологічний процес, змодельовано систему нейро-нечіткого управління технологічним процесом.

У четвертому розділі виконано розрахунок економічної ефективності запропонованої системи автоматизації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АСУТП, РЗФ, НЕЧІТКА ЛОГІКА, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, ПРОГНОЗУЮЧА МОДЕЛЬ.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	4
ЗМІСТ	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СПЕЦІАЛЬНИХ ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ	9
1.1 Літературний огляд.....	9
1.2 наявні системи автоматизації.....	10
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ	14
2.1 Технологічні процеси напівсекції технологічної схеми рудозбагачувальної фабрики як об'єкти управління.....	14
2.2 Постановка задач автоматизації секції рудозбагачувальної фабрики	16
2.3 Опис структури та взаємозв'язку функціональних задач АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики	17
3 РЕАЛІЗАЦІЯ АСУТП СЕКЦІЇ РУДОЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ.....	19
3.1 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації	19
3.1.1 Опис технологічних параметрів	19
3.1.2 Вибір обладнання.....	20
3.2 Основні параметри для реалізації системи автоматизації	23
3.3 Програмування контролера.....	24
3.3.1 Створення тегів і DB в середовищі TIA Portal	24
3.3.2 Створення функціональних блоків	28
3.3.4 Алгоритм запуску і зупинки об'єкта	29
3.3.5 Налаштування PID регулювання	33
3.4 Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення системи прогнозування продуктивності млина	34
3.4.1 Постановка задачі проектування системи прогнозування продуктивності млина з використанням нейрорегулятора.....	34

3.4.2 Реалізація системи прогнозування продуктивності млина з використанням нейрорегулятора	38
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ	48
ВИСНОВКИ	50
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	51
ДОДАТОК А. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС РУДОЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ КУЛЬОВОГО ПОДРІБНЕННЯ	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
А.1 Ділянка подачі руди	Ошибка! Закладка не определена.
А.2 Подрібнення та класифікація ...	Ошибка! Закладка не определена.
А.3 Магнітна сепарація та знешламливання	Ошибка! Закладка не определена.
А.4 Зневоднення концентрату	Ошибка! Закладка не определена.
А.5 Контроль якості продукції	Ошибка! Закладка не определена.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СПЕЦІАЛЬНИХ ТЕРМІНІВ

SAP- система автоматичного регулювання;

РЗФ – рудозбагачувальна фабрика;

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

ТІ – технологічна інструкція;

КВП і А – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика;

TIA Portal – інтегроване середовище розробки програмного забезпечення систем автоматизації технологічних процесів від рівня приводів та контролерів до рівня людино-машинного інтерфейсу;

ПЛК – програмований логічний контролер.

ВСТУП

Сучасний гірничо-збагачувальний комбінат є підприємством із замкнутим циклом видобутку та переробки корисних копалин.

Одним з основних технологічних процесів гірничо-збагачувальних підприємств – є збагачення корисних копалин на рудозбагачувальних фабриках (РЗФ).

Сучасні збагачувальні фабрики з переробки руд чорних металів є потужними, повністю механізованими, промисловими підприємствами зі складним технологічним процесом збагачення, насичені великою кількістю різноманітного обладнання.

Збагачення магнетитових кварцитів на збагачувальних фабриках здійснюється способом магнітної сепарації руди, що послідовно подрібнюється.

Автоматизація процесів подрібнення та магнітної сепарації є потужним засобом підвищення рентабельності виробництва, підвищення якості концентрату та зниження втрат металу у хвості збагачення.

В кваліфікаційній роботі проаналізовані можливі варіанти автоматизації рудозбагачувальної фабрики та запропоновано удосконалення системи автоматизації першого технологічного блоку, функціонування якого визначає режим роботи подальших стадій технологічного процесу збагачення. Запропонована модернізація метрологічного забезпечення та технічних засобів для наявної системи автоматизації. Розроблено програмне забезпечення контролера для визначених систем та нейро-нечітку систему прогнозування оптимальної продуктивності млина для стабілізації якісних характеристик готової продукції. Розраховано очікуваний економічний ефект від впровадження запропонованого рішення для АСУТП секції збагачення рудозбагачувальної фабрики.

Апробація роботи:

1. Нікулін, В., Мірошніченко, В. A System for Predicting Optimal Mill Performance to Stabilize the Finished Product Quality of the Ore Dressing Factory. International scientific conference «MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education» : conference proceedings, Riga, the Republic of Latvia, November 29–30, 2023. «Baltija Publishing», Riga, Latvia, 2023. С. 41–43.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Літературний огляд

Автоматизація процесів подрібнення та магнітної сепарації є потужним засобом підвищення рентабельності виробництва, підвищення якості концентрату та зниження втрат металу у хвості збагачення [1].

Розглянемо можливі варіанти постановки задачі автоматизації РЗФ:

- забезпечення максимальної продуктивності секції збагачення за обмежень на якість концентрату;
- забезпечення максимальної якості концентрату при обмеженнях продуктивності;
- забезпечення заданої продуктивності, при забезпеченні якості концентрату на заданому рівні.

Оптимальним у даній ситуації є третій варіант – пропозиції, спрямовані на зниження коливання вмісту заліза в концентраті, при забезпеченні його якості на заданому рівні, дають прямий економічний ефект.

Неодноразово робилися спроби автоматизувати процес збагачення магнетитових руд шляхом побудови класичних схем, використовуючи як регулюючий параметр якість концентрату, а як керований – зміни продуктивності вихідного живлення або величини циркулюючого навантаження. Вказані способи автоматизації виявилися важко реалізовані, насамперед, через значне транспортне запізнення між входом і виходом системи автоматичного регулювання (САР), коли за показаннями вмісту заліза в концентраті, отриманого з руди з одними фізико-хімічними властивостями, керують на вході секції рудою з іншими відповідними властивостями.

Аналіз кореляційних зв'язків між змінними технологічного процесу збагачення показав, що переділом, який задає режим роботи наступним переділам, є технологічний блок – перша стадія подрібнення та класифікації та перша стадія магнітної сепарації. Режим роботи цього блоку визначає режим роботи всіх наступних стадій збагачення [2].

Основні задачі управління, які можуть вирішатись на першій стадії подрібнення можуть бути сформульовані як підтримання мінімального вмісту заліза в хвостах першої стадії магнітної сепарації шляхом прямого контролю та застосування адаптивного управління завантаженням рудою млинів, стабілізація крупності продукту подрібнення; підтримання необхідної щільності зливу млина [3].

Використовуючи сучасні підходи, а саме моделювання технологічних процесів, можливо конкретизувати структуру та параметри

системи розробити алгоритми прийняття рішень щодо оптимального оперативного управління [4].

1.2 Наявні системи автоматизації

Автоматизована система управління технологічним процесом секції №1 РЗФ №1 була реалізована у 2012 році. До складу системи входять наступні системи регулювання:

- масової витрати вихідної руди, що подається до млинів першої стадії;
- об'ємних витрат води до млинів перших стадій;
- об'ємних витрат води у класифікатори;
- співвідношення «руда – вода» до млина першої стадії;
- густини пульпи зливів спіральних класифікаторів;
- рівнів промпродукту у зумпфах;
- контролю завантаження млинів першої стадії та класифікаторів за комплексним параметром (активна потужність електроприводу млина, струм електроприводу класифікатора, щільність та грансклад пульпи на зливі класифікатора, шум у барабані млина);
- контроль завантаження млинів 3 та 4 стадії подрібнення за параметрами активної потужності електроприводу;
- контроль гостинних режимів на стадіях сепарації.

Система реалізована як дворівнева ієрархічна структура з можливістю підключення до третього рівня, що має розподілені функції контролю та управління.

нульовий рівень - збір та обробка технологічних параметрів та введення/виведення дискретних та аналогових сигналів систем автоматизованого управління. Контроль, регулювання та управління технологічним процесом на базі контролерів Siemens.

перший рівень - реалізація функцій взаємодії оператора з об'єктом управління та з системою, зміна завдань на регулювання, перемикання режимів роботи, контроль технологічних параметрів на базі робочих станцій.

У системі реалізується інтеграція до складу комплексу диспетчеризації рудозбагачувальної фабрики.

Для управління технологічним процесом та обробки зібраної технологічної інформації розроблено низку математичних алгоритмів.

Алгоритми управління передбачають:

- увімкнення/вимкнення контурів регулювання за впливом машиніста секції;
- зміна режиму роботи технологічного обладнання як за командами оператора, так і автоматично за завданням;

– забезпечення плавного включення виконавчих механізмів та контурів регулювання при переході з ручного на автоматичний режим роботи, переході з одного алгоритму на інший, а також при переході з однієї уставки на іншу;

Реалізовано такі системи автоматичного контролю:

- активної потужності, що споживається приводом млинів та струму, що споживається приводом класифікаторів;
- шуму млинів I стадії подрібнення;
- гранскладу зливу класифікатора;
- тиску живлення гідроциклонів;
- вакууму вакуум-фільтрів;
- витрати води на секцію;
- час роботи технологічного устаткування.

На даний час робота системи підтримується персоналом комбінату, але через її значний вік (більше 10 років) компоненти системи морально застарілі і потребують оновлення.

Засоби вимірювальної техніки системи автоматизації РЗФ наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Метрологічне забезпечення технологічного процесу РЗФ

Найменування параметрів технологічного процесу	Характеристика засобів вимірювальної техніки			
	Найменування	Тип	Межі вимірювання	Ціна поділу
1	2	3	4	5
Продуктивність млинів I стадії подрібнення за вихідною рудою	Ваги конвеєрні в комплекті з реєстратором і вимірювальним перетворювачем, секції 1, 2, 3, 4, 5.	«Ермак» МТМ-РЭ-160 МТМ – 402ИТС	0 – 200т/год	1,0 т/год 0,1 т/год 1,0 т/год
	Конвеєрні ваги в комплекті з реєстратором та перетворювачем вимірювальним, секції 6, 7, 8, 91,103	INTECONT PLUS«Шенк» МТМ-РЭ-160 МТМ – 402ИТС	0 – 200т/год	1,0 т/год 0,1 т/год 1,0 т/год
	Конвеєрні ваги в комплекті з реєстратором та вимірювальним перетворювачем, напівсекцій № 93, 101.	ВКТ-4 МТМ-РЭ-160 МТМ – 402ИТС	0 – 200т/год	1,0 т/год 0,1 т/год 1,0 т/год
Щільність пульпи на зливні класифікатора	Щільномір буйковий з реєстратором.	П – 1 МТМ-РЭ-160	1,0 – 2,5кг/л	0,01кг/л 0,01кг/л

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5
Потужність двигуна млинів	Перетворювач вимірювальний активної потужності трифазового струму в комплекті з реєстратором	Е – 849 МТМ-РЭ-160	0-2000 кВт 700- 1300кВт	50 кВт 10 кВт
Рівень пульпи в технологічних зумпфах	Перетворювач пневмоелектричний в комплекті з реєстратором на секціях №2-10	ППЭ – ДИ МТМ-РЭ – 160 Датчик уровня SITRANS ProbeLU МТМ-РЭ-160	0 – 100 % 0 -1600 мм 0 – 100 %	1 % 10 мм 1 %
Розмір вакууму на головках дискових вакуум-фільтрів	Вакуумметри технічні	ОБВ 1 ВПЗ – У ВПТ - 160	1,0-0 кгс/см ²	0,02 кгс/см ²
Тиск олії, води	Манометри технічні	ОБМ 1-100 МПЗ –У МП4- У	0-6 кгс/см ² 0-10 кгс/см ²	0,1 кгс/см ²
Струм споживаний двигуном млина	Трансформатори струму з амперметрами	Э - 30 Э - 421 Э - 420	0-200 А	10 А
Струм споживаний двигуном класифікатора	Трансформатори струму з амперметрами	Э - 421 Э - 30 Э - 378 Э - 377	0-100 А	2 А
Щільність зливу гідроциклонів	Щільномір у комплекті з реєстратором	П-1 МТМ-РЭ-160	1,0 -2,0 кг/л 1,0 -2,0 кг/л	0,01 кг/л 0,01 кг/л
Щільність пісків дешламаторів	Гідростатичний щільник на базі вимірювального перетворювача різниці тиску	ДМ-3583М LMP-331 РС28/0	0 -63 кПа 0-100 кПа 0-60 кПа	0,1 кПа 0,1 кПа 0,1 кПа
Витрата води до млинів	Перетворювач тиску напівсекціях	Промаг – 30 МТМ-РЭ-160	0 – 37,5 м ³ /год	0,1 м ³ /год

На підставі інформації про роботу наявної на базі переддипломної практики АСУТП зроблено висновок, що окрім заміни засобів автоматизації на більш сучасні та відповідні Стандарту АСУТП для підприємств Групи Метінвест, наявну систему слід модернізувати за рахунок впровадження прогнозування оптимальної продуктивності млина для стабілізації якісних показників готової продукції.

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

2.1 Технологічні процеси напівсекції технологічної схеми рудозбагачувальної фабрики як об'єкти управління

Розглянемо складові напівсекції технологічної схеми рудозбагачувальної фабрики (рис. 2.2) як об'єкти управління:

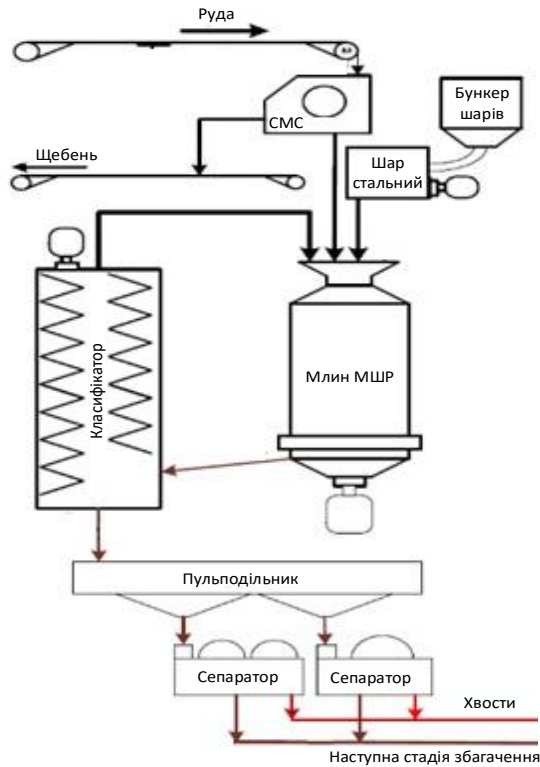


Рисунок 2.2 – Схема напівсекції технологічної схеми рудозбагачувальної фабрики [4]

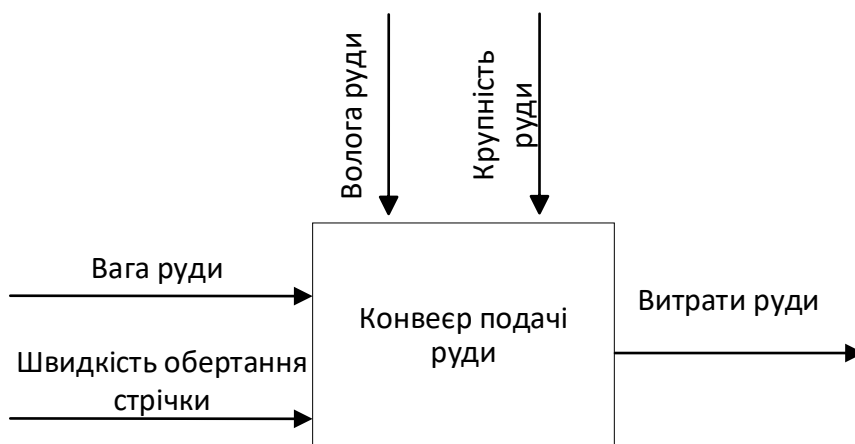


Рисунок 2.3 – Конвеєр подачі руди як об'єкт управління

Вхідні величини:

1. Вага руди;

2. Швидкість обертання стрічки.

Вихідні величини:

Витрати руди.

Збурювальні впливи:

1. Волога руди;
2. Крупність руди.

Вага руди, що проходить по конвеєру вимірюється конвеєрними вагами (миттєве значення і суматор за годину). Швидкість обертання стрічки вимірюється по кількості обертів електродвигуна та передавального відношення редуктора. Оберти електродвигуна регулюють за допомогою частотного перетворювача.



Рисунок 2.4 – Млин ШР як об'єкт управління

Вхідні величини:

1. Кількість руди;
2. Витрати технічної води;
3. Потужність електродвигуна;
4. Шум;
5. Кількість руди з класифікатору на домел.

Вихідні величини:

1. Витрати руди;
2. Тонина помелу.

Збурювальні впливи:

1. Крупність руди;

2. Збагачуваність;
3. Міцність руди;
4. Вага шару.

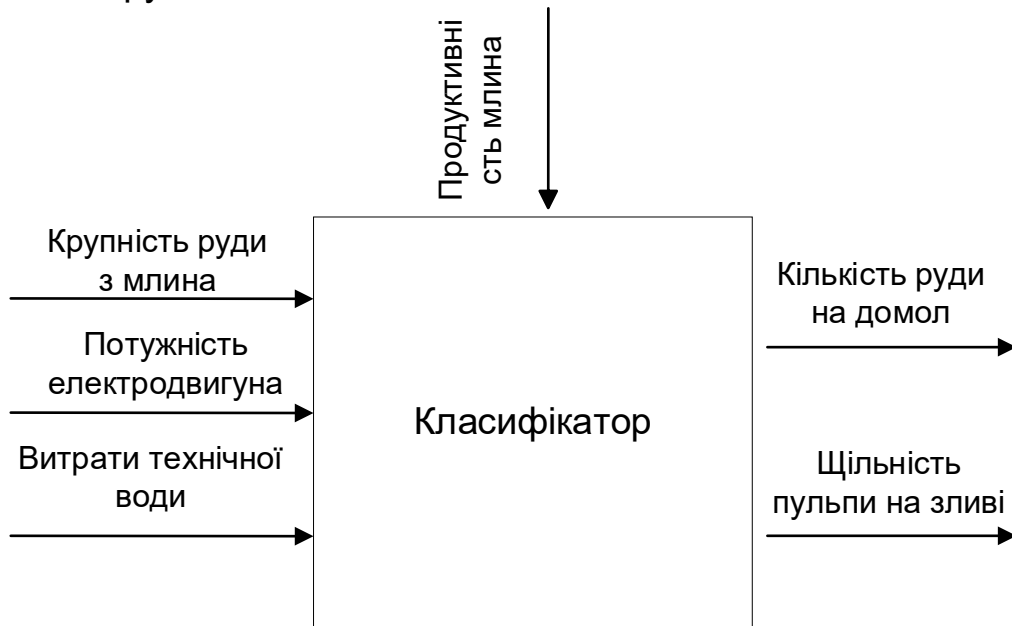


Рисунок 2.5 – Класифікатор 2КСН як об'єкт управління

Вхідні величини:

1. Крупність руди з млина;
2. Потужність електродвигуна;
3. Витрати технічної води;

Вихідні величини:

1. Кількість руди на домелення;
2. Щільність пульпи на зливі.

Збурювальні впливи:

- Продуктивність млина.

2.2 Постановка задач автоматизації секції рудозбагачувальної фабрики

При аналізі складових напівсекції рудозбагачувальної фабрики сформульовані наступні задачі контролю, регулювання та управління:

- контроль та регулювання масової витрати вихідної руди, що подається до млинів першої стадії;
- контроль та регулювання об'ємних витрат води до млинів перших стадій;
- контроль та регулювання об'ємних витрат води у класифікатори;
- контроль та регулювання співвідношення «руда – вода» до млина першої стадії;
- контроль та регулювання густини пульпи зливів спіральних класифікаторів;
- контроль та регулювання рівнів промпродукту у зумпфах;

- контроль завантаження млинів першої стадії та класифікаторів за комплексним параметром (активна потужність електроприводу млина, струм електроприводу класифікатора, щільність та грансклад пульпи на зливі класифікатора, шум у барабані млина);
- контроль завантаження млинів 3 та 4 стадії подрібнення за параметрами активної потужності електроприводу;
- контроль гостинних режимів на стадіях сепарації.

2.3 Опис структури та взаємозв'язку функціональних задач АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики

Структура АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики (Лист 1) є дворівневою, з можливістю підключення до третього рівня:

На нижньому рівні реалізується збір (модулі вводу дискретних та аналогових сигналів від датчиків), обробка технологічної інформації контролером S7 – 1515-2 PN та видача керуючих впливів на виконавчі механізми (модулі виведення дискретних та аналогових сигналів).

На верхньому рівні передбачена реалізація функцій взаємодії операторів з об'єктами управління та з системою (SCADA): зміна уставок, перемикання режимів роботи, контроль технологічних параметрів на базі робочих станцій.

У системі реалізується інтеграція до складу комплексу диспетчеризації рудозбагачувальної фабрики.

Схема взаємозв'язку функціональних задач АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики наведена в графічних матеріалах кваліфікаційної роботи (Лист 2).

Функціональна структура визначає перелік та взаємозв'язок завдань, які реалізовані у відповідних функціональних підсистемах АСУТП.

До складу АСУ ТП секції рудозбагачувальної фабрики входять наступні функціональні підсистеми:

1. Підсистема нижнього рівня виконує наступні функції:
 - прийом та обробка вхідних сигналів;
 - сигналізація відхилень технологічних параметрів від установлених меж;
 - регулювання технологічних параметрів;
 - зв'язок з верхнім рівнем АСУТП.
2. Підсистема запуску/перезапуску АСУТП здійснює запуск системи при наявності інформації про готовність до роботи обладнання; при несправностях в роботі технологічного об'єкта і/або АСУТП здійснює перезапуск системи, який містить в собі завдання, призначені для синхронізації роботи системи і об'єкта, розрахункові завдання і моделі які

значно скорочують час перезапуску; попередження про перехід системи на керування в дистанційному режимі.

3. Інформаційна підсистема забезпечує зв'язок верхнього та нижнього рівнів АСУТП; на основі отриманої інформації здійснює візуалізацію та реєстрацію параметрів технологічного процесу, які записуються в поточну базу даних, а через деякий інтервал часу заносяться в архівну базу даних технологічних параметрів; також на підставі даної інформації функціонує модель стадії подрібнення та модель стадії збагачення, які в результаті надають дані для подальшого розгляду і прийняття рішень по вдосконаленню технологічного процесу. Також інформаційна підсистема забезпечує зв'язок з іншими суміжними системами.

4. Підсистема ведення баз даних виконує наступні функції:

- формування поточної бази даних технологічних та техніко-економічних параметрів;
- формування архівної бази даних технологічних та техніко-економічних параметрів;

5. Підсистема управління здійснює:

- формування та видачу на входи виконавчих механізмів керуючих впливів на підставі інформації про регулювання технологічних параметрів, яка отримана від підсистеми нижнього рівня АСУТП;
- розрахунок нових значень параметрів об'єктів та регуляторів та видачу оператору рекомендацій по управлінню процесом;
- управління каскадним запуском обладнання, згідно вимог технологічної інструкції;
- вибір необхідного режиму роботи обладнання з урахуванням інформації, отриманої від системи прогнозування якості.

6. Підсистема розрахунку та видачі ТЕП здійснює розрахунок та видачу ТЕП технологічного процесу:

- розрахунок ТЕП секції збагачення (витрати сировини, енергоресурсів, питомі показники, тощо)
- розрахунок ТЕП системи автоматизації (час роботи, кількість перезапусків і їх причини, час виникнення і причини збоїв обладнання, тощо)

3 РЕАЛІЗАЦІЯ АСУТП СЕКЦІЇ РУДОЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ

3.1 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації

3.1.1 Опис технологічних параметрів

Вибір технологічних параметрів, а також діапазони їх зміни проведено на підставі технологічної інструкції [5].

– Система автоматичного регулювання (САР) подачі руди в млин 1-ї стадії подрібнення та класифікації.

Кількість руди, що надходить на млин вимірюється за допомогою конвеєрних ваг, а швидкість конвеєра і, відповідно, завантаженість млина регулюється електроприводом з частотним перетворювачем. Регулювання може відбуватися по ручному завданню оператором, по струму електродвигуна млина і класифікатора – тобто кількість руди, що подається в млин буде залежати від завантаженості електродвигуна млина і класифікатора, а також завдання системи прогнозування якості (ця система більш детально буде розглянута у кваліфікаційній роботі магістра і передбачатиме наявність розробленого програмного забезпечення для прогнозування якості готової продукції процесу збагачення залізної руди з використанням штучного інтелекту на базі нейронних мереж).

Діапазони технологічних параметрів процесу подачі руди в млин 1-ї стадії подрібнення та класифікації наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Діапазони технологічних параметрів процесу подачі руди в млин

№	Параметр	Діапазон
1	Продуктивність млина по руді	112,5-117,5 т/год
2	Струм електродвигуна млина	96-120 А
3	Струм електродвигуна класифікатора	64-80 А
4	Дані з системи прогнозування якості	110-120 т/год

– Система автоматичного регулювання подачі води в млин 1-ї стадії подрібнення та класифікації

Кількість води, що надходить в млин залежить від продуктивності млина по руді, а також щільності промпродукту, що надходить з млина в класифікатор. Оскільки на даний момент немає технічного рішення по автоматичному визначенню показника щільності промпродукту на виході з млина, показник завдання кількості води в млин є розрахунковим значенням. Регулювання кількості води може відбуватися по ручному завданню оператором, по розрахунковому значенню співвідношення продуктивності млина і щільності промпродукту.

Діапазони технологічних параметрів процесу подачі води в млин 1-ї стадії подрібнення та класифікації наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Діапазони технологічних параметрів процесу подачі води в млин

№	Параметр	Діапазон
1	Витрати води в млин	10-27 м ³ /год
2	Положення приводу подачі води в млин	0-100%
3	Продуктивність млина по руді	112,5-117,5 т/год

– Система автоматичного регулювання подачі води в класифікатор 1-ї стадії подрібнення та класифікації.

Кількість води, що надходить в класифікатор залежить від щільності промпродукту на зливів з класифікатора. Регулювання кількості води може відбуватися по ручному завданню оператором, по даним з густиноміру, що встановлений у ванні класифікатора.

Діапазони технологічних параметрів процесу подачі води в класифікатор 1-ї стадії подрібнення та класифікації наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Діапазони технологічних параметрів процесу подачі води в класифікатор

№	Параметр	Діапазон
1	Витрати води в класифікатор	8-20 м ³ /год
2	Положення приводу подачі води в класифікатор	0-100%
3	Щільність промпродукту на зливів з класифікатора	1600-2000 кг/м ³

3.1.2 Вибір обладнання

Вибір обладнання і контрольно-вимірювальних приладів та технічних засобів автоматизації проводиться у відповідності зі стандартом АСУТП «МЕТІНВЕСТ ДІДЖИТАЛ».

Згідно стандарту АСУТП «МЕТІНВЕСТ ДІДЖИТАЛ» при виборі КВП і А для нових і модернізованих систем автоматизації (в тому числі і таких, що постачаються комплектно з основним технологічним обладнанням) необхідно керуватися рекомендованою типізацією обладнання.

Для САР подачі руди в млин 1-ї стадії подрібнення та класифікації обрано наступне обладнання (табл. 3.4).

Для САР подачі води в млин 1-ї стадії подрібнення та класифікації обрано наступне обладнання (табл. 3.5).

Для САР подачі води в класифікатор 1-ї стадії подрібнення та класифікації обрано наступне обладнання (табл. 3.6).

Таблиця 3.4 – Метрологічне забезпечення САР подачі руди в млин

Аналогові датчики			
Параметр	Модель	Діапазон	Сигнал
Вага руди	БЕР-12-250, INTECONT® PLUS	0-250 т/ч	0-20мА
Струм електродвигуна млина	ПР-03-ТК	0-5А	4-20мА
Струм електродвигуна класифікатора	ПР-03-ТК	0-5А	4-20мА
Аналогові виконавчі механізми			
Швидкість конвеєра	SINAMICS S110	0-0.3 м/с	-10 ... 10 V

Таблиця 3.5 – Метрологічне забезпечення САР подачі води в млин

Аналогові датчики			
Параметр	Модель	Діапазон	Сигнал
Тиск технічної води	SITRANS P500	0-400 кПа	4-20мА
Витрати води в млин	SITRANS FM MAG 5100 W	0-50 м3/год	4-20мА
Положення привода подачі води в млин	SQV91P40	0-100%	0-10V
Аналогові виконавчі механізми			
Засувка регулювання подачі води (в млин)	SQV91P40	0-100%	4-20мА

Таблиця 3.6 – Обладнання для САР подачі води в класифікатор

Аналогові датчики			
Параметр	Модель	Діапазон	Сигнал
Витрати води в класифікатор	SITRANS FM MAG 5100 W	0-50 м3/год	4-20мА
Положення привода подачі води в класифікатор	SQV91P40	0-100%	0-10V
Густина промпродукту	SDI-DM	1000-2000 кг/м3	4-20мА
Аналогові виконавчі механізми			
Засувка регулювання подачі води (в класифікатор)	SQV91P40	0-100%	4-20мА

Вибір контролера

Для вибору та конфігурації контролера та необхідних модулів був використаний каталог TIA Selection Tool.

Було обрано контролер серії S7 – 1500, CPU 1515-2 PN, 1MB Prog., 4,5MB Data.

В розділі конфігурації був обраний блок живлення, що розміщується в слоті 0 - SIMATIC PM1507/1AC/24VDC/3A (арт. 6EP1332-4BA00).

Були обрані 2 аналогові модулі вводу S7-1500, AI 8xU/I/R/RTD BA (арт. 6ES7531-7QF00-0AB0) по 8 каналів, оскільки в CAP 12 аналогових датчиків.

Обраний дискретний модуль вводу S7-1500, DI 16x24VDC HF (арт. 6ES7521-1BH00-0AB0).

Далі обраний один аналоговий модуль виводу S7-1500, AQ 4xU/I ST (арт. 6ES7532-5HD00-0AB0) з чотирма виходами, оскільки задіяно 3 аналогових виходи.

Також обрано модуль виводу дискретних сигналів S7-1500, DQ 16x24V DC/0.5A HF (арт. 6ES7522-1BH01-0AB0) для керуванням запуску/зупинки обладнання і сигналізацією.

Отриманий лист модулів був використаний для конфігуратора.

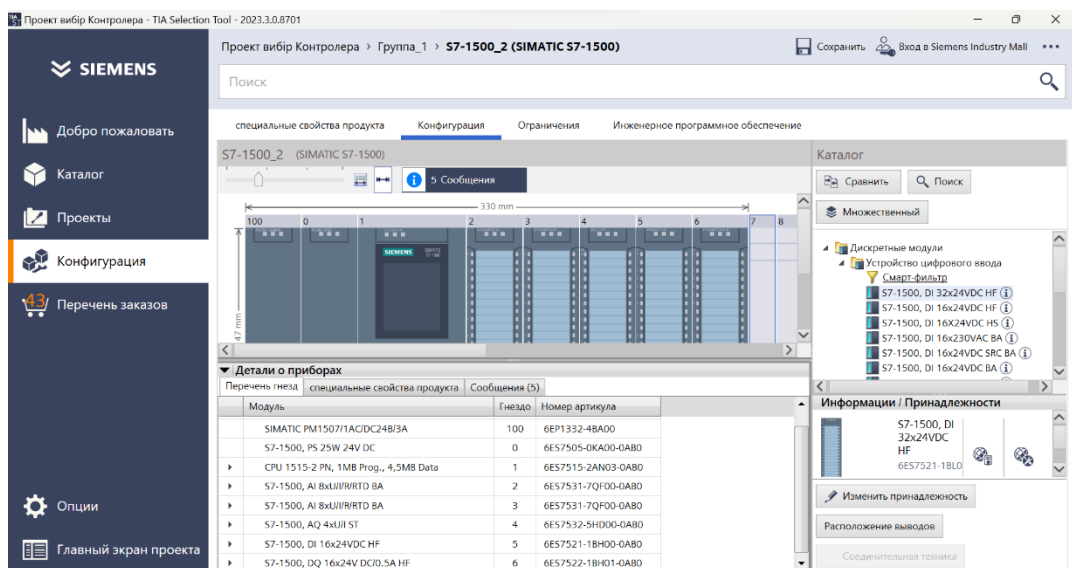


Рисунок 3.1 – Лист модулів контролера

Створення апаратної частини проекту в середовищі TIA Portal.

Було створено відповідний проект (рис. 3.2) для подальшого використання.

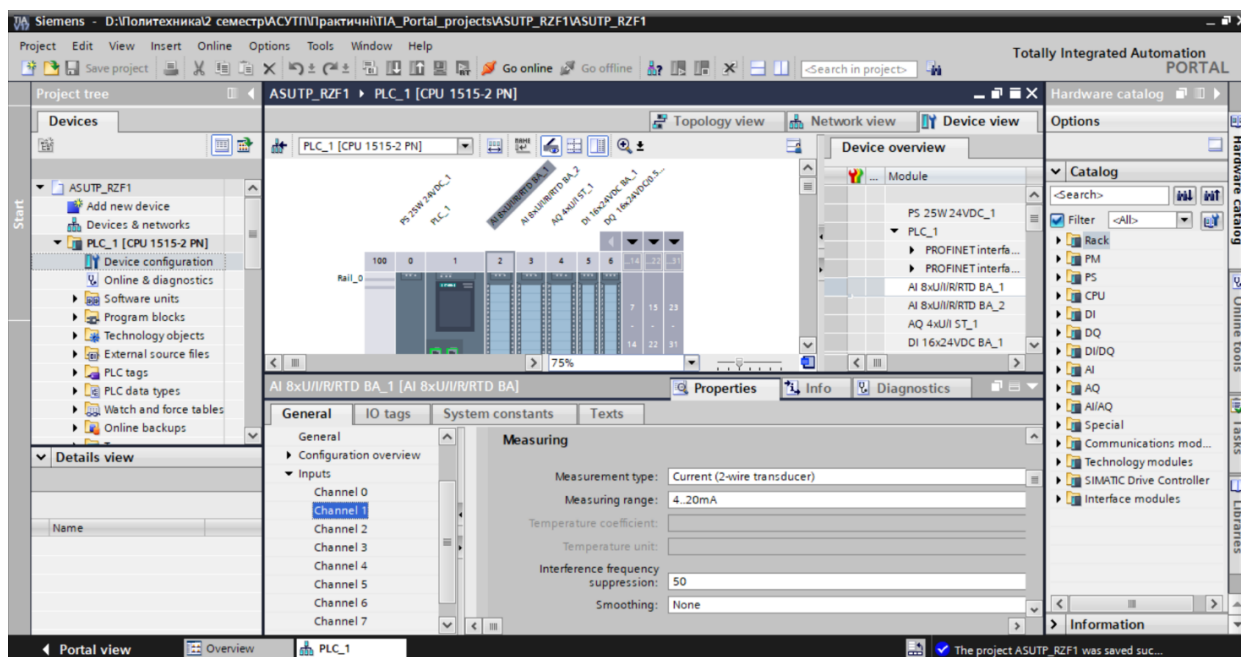


Рисунок 3.2 – Створення проекту в середовищі TIA Portal

При створенні систем автоматизації на випадок аварії, необхідно передбачити локальне регулювання технологічних параметрів, побудоване на локальних регуляторах, а також забезпечення безударного переходу з одного режиму регулювання в інший. В даній роботі буде розглянуто побудова системи з регулюванням технологічних параметрів лише за допомогою контролера.

3.2 Основні параметри для реалізації системи автоматизації

Основні параметри для реалізації системи автоматизації 1ї стадії подрібнення і класифікації напівсекції збагачення рудозбагачувальної фабрики кульового здрібнення є:

- Вага руди;
- Струм електродвигуна млина;
- Струм електродвигуна класифікатора;
- Тиск технічної води;
- Витрати води в млин;
- Витрати води в класифікатор;
- Положення привода подачі води в млин;
- Положення привода подачі води в класифікатор;
- Густина промпродукту;

Зокрема, сигнали керування:

- Положення засувки регулювання подачі води (в млин);
- Положення засувки регулювання подачі води (в класифікатор);

- Швидкість конвеєра;
- Сигнал аварійної зупинки;

3.3 Програмування контролера

3.3.1 Створення тегів і DB в середовищі TIA Portal

Програмування контролера за допомогою програмного забезпечення TIA Portal. Були створені теги для вхідних та вихідних даних (рис. 3.3, 3.4, табл. 3.7)

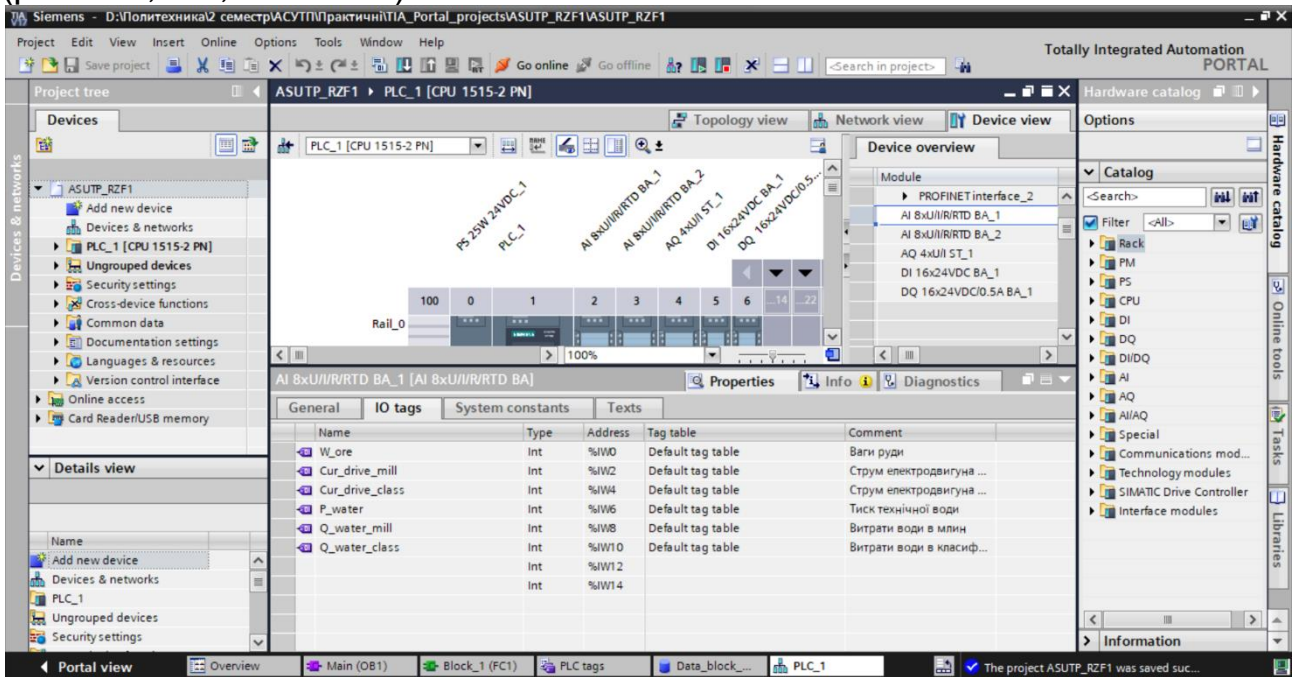


Рисунок 3.3 – Створення тегів вхідних даних в середовищі TIA Portal

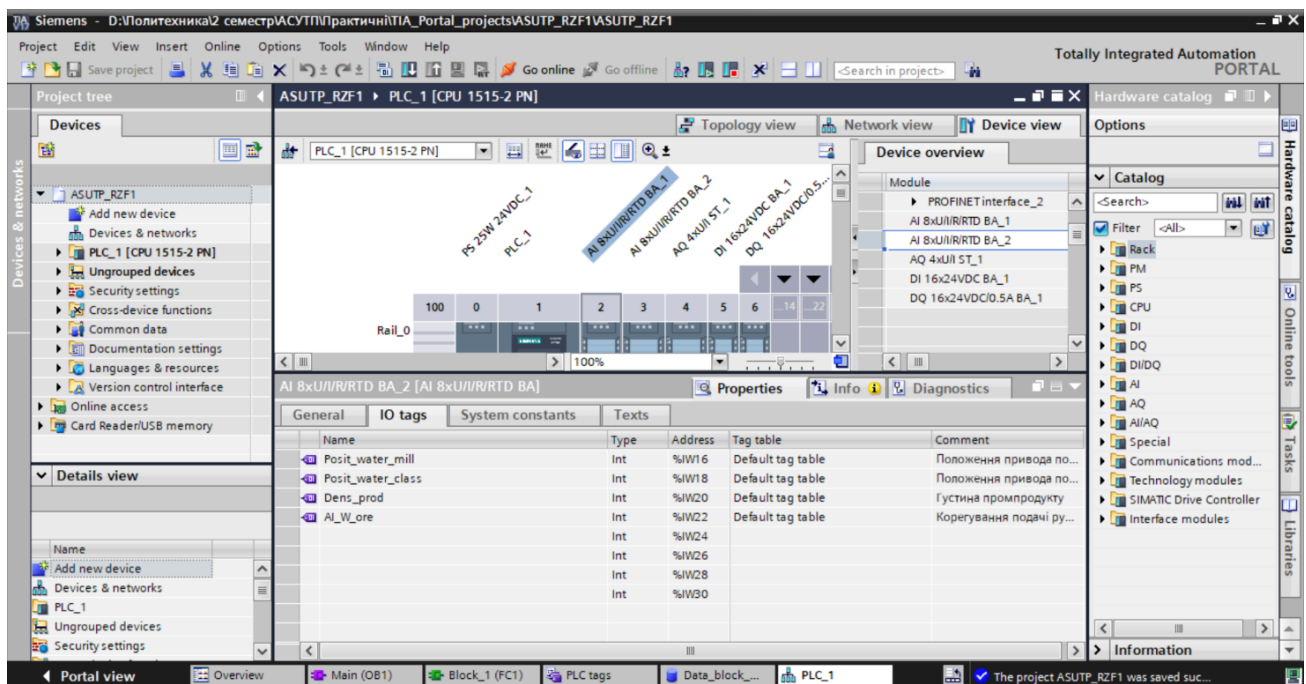


Рисунок 3.4 – Створення тегів вихідних даних в середовищі TIA Portal

Таблиця 3.7 – Список тегів, розподілених по адресах блоків контролеру

Центральний процесор	CPU 1515-2 PN 6ES7515-2AN03-0AB0		
Аналоговий модуль 1	Analog S7-1500, AI 8xU/I/R/RTD BA_1 6ES7531-7QF00-0AB0		
	№ каналу	Адреса	Параметр
	0	%IW0	Ваги руди
	1	%IW2	Струм електродвигуна млина
	2	%IW4	Струм електродвигуна класифікатора
	3	%IW6	Тиск технічної води
	4	%IW8	Витрати води в млин
	5	%IW10	Витрати води в класифікатор
	6	%IW12	-
	7	%IW14	-
Аналоговий модуль 2	Analog S7-1500, AI 8xU/I/R/RTD BA_2 6ES7531-7QF00-0AB0		
	№ каналу	Адреса	Параметр
	0	%IW16	Положення привода подачі води в млин
	1	%IW18	Положення привода подачі води в класифікатор
	2	%IW20	Густина промпродукту
	3	%IW22	Корегування подачі руди в млин (з системи прогнозування якості)
	4	%IW24	-
	5	%IW26	-
	6	%IW28	-
	7	%IW30	-
Аналоговий модуль 3	Analog Output S7-1500, AQ 4xU/I ST_1 6ES7531-7QF00-0AB0		
	№ каналу	Адреса	Параметр
	0	%QW0	Засувка регулювання подачі води (в млин)
	1	%QW2	Засувка регулювання подачі води (в класифікатор)
	2	%QW4	Швидкість конвеєра
	3	%QW6	-

Продовження табл. 3.7			
Дискретний модуль 1		Digital I/O S7-1500 DI/DQ 6ES7531-7QF00-0AB0	
DI	№ каналу	Адреса	Параметр
	0	%I32.0	Кнопка аварійної зупинки
	1	%I32.1	-
	2	%I32.2	-
	3	%I32.3	-
	4	%I32.4	-
	5	%I32.5	-
	6	%I32.6	-
	7	%I32.7	-
DO	0	%Q16.0	Дзвінок
	1	%Q16.1	Лампа роботи
	2	%Q16.2	Лампа зупинки
	3	%Q16.3	-
	4	%Q16.4	-
	5	%Q16.5	-
	6	%Q16.6	-
	7	%Q16.7	-

Після налаштувань конфігурації обладнання проект було завантажено в ПЛК.

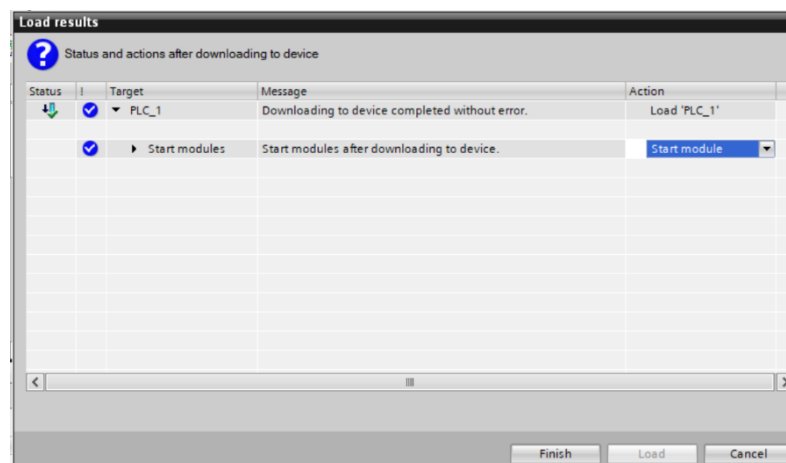


Рисунок 3.5 – Завантаження проекту в ПЛК в середовищі TIA Portal

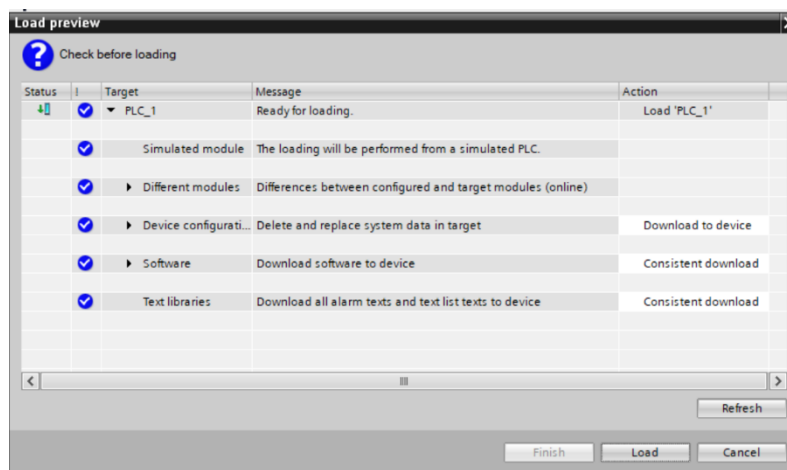


Рисунок 3.6 – Перевірка перед завантаженням в ПЛК в середовищі TIA Portal

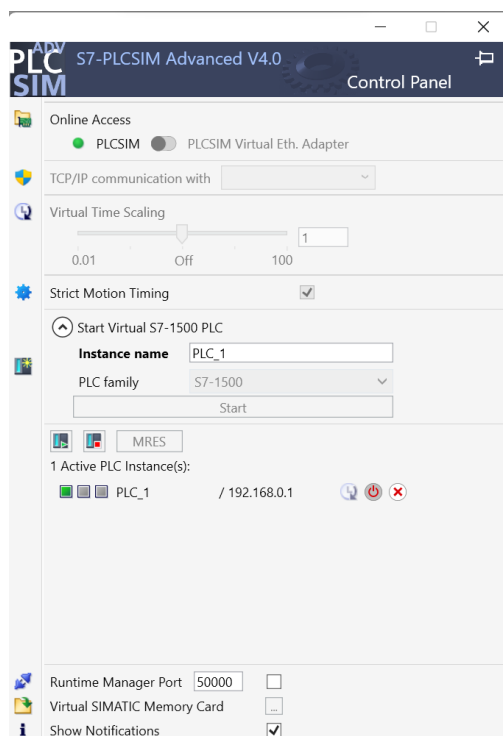


Рисунок 3.7 – Симуляція роботи ПЛК для тестування проекту
Після підключення ПЛК і перевірки симуляції можна вважати, що налаштування апаратної частини контролера пройшли успішно.

Було створено таблицю вхідних даних з адресами блоків пам'яті.

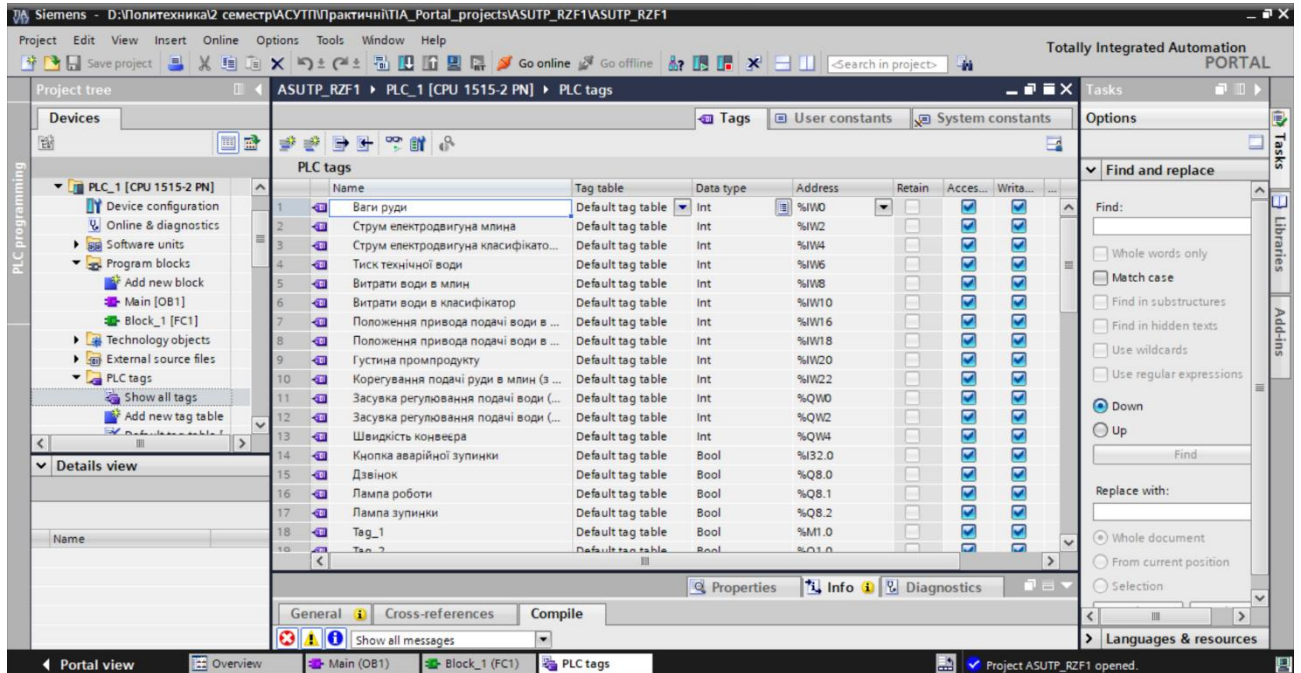


Рисунок 3.8 – Створення таблиці вхідних даних з адресами блоків пам'яті в середовищі TIA Portal

Була створена база даних для оброблених даних.

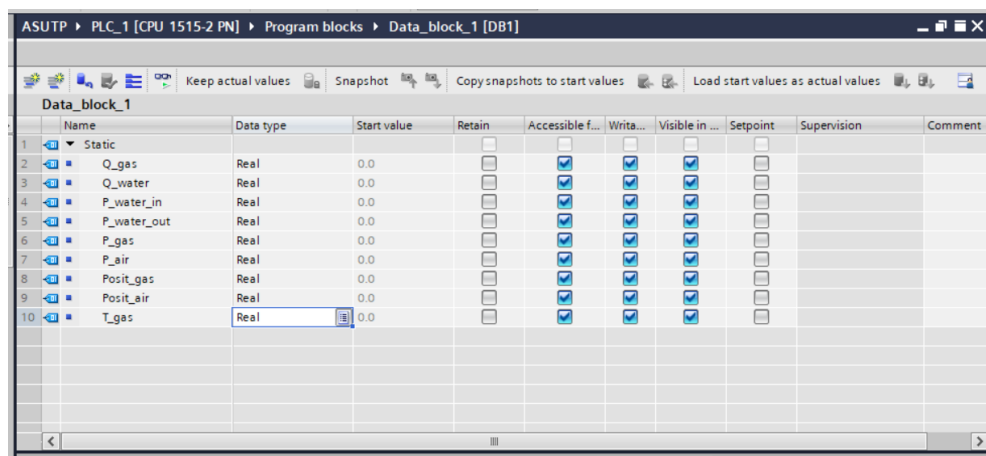


Рисунок 3.9 – Створення таблиці вихідних даних з адресами блоків пам'яті в середовищі TIA Portal

3.3.2 Створення функціональних блоків

Для обробки аналогових сигналів були створені функціональні блоки FB, що обробляють вхідні дані.

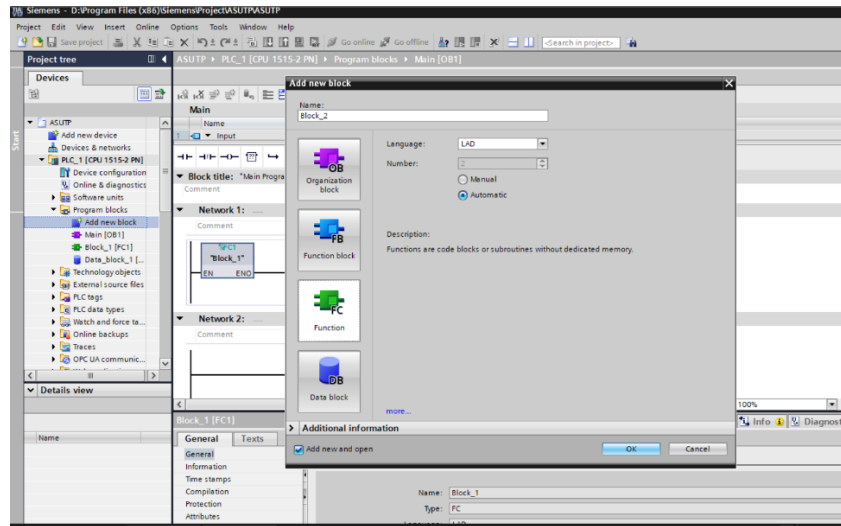


Рисунок 3.10 - Створення функціонального блоку в середовищі TIA Portal

3.3.3 Нормалізація та шкалування аналогових даних

В першому блоці FB була реалізована обробка вхідних сигналів для аналогового модулю за допомогою двох блоків – Norm_X і Scale_X .

Для всіх аналогових входів реалізація аналогічна.

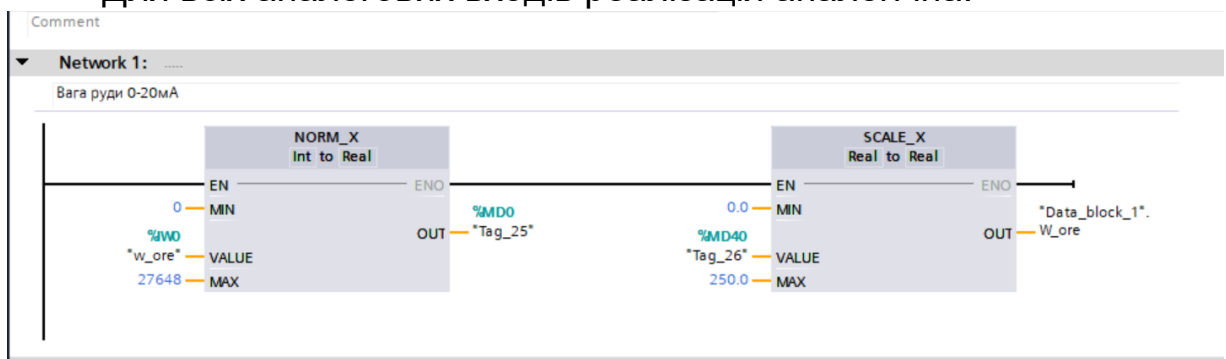
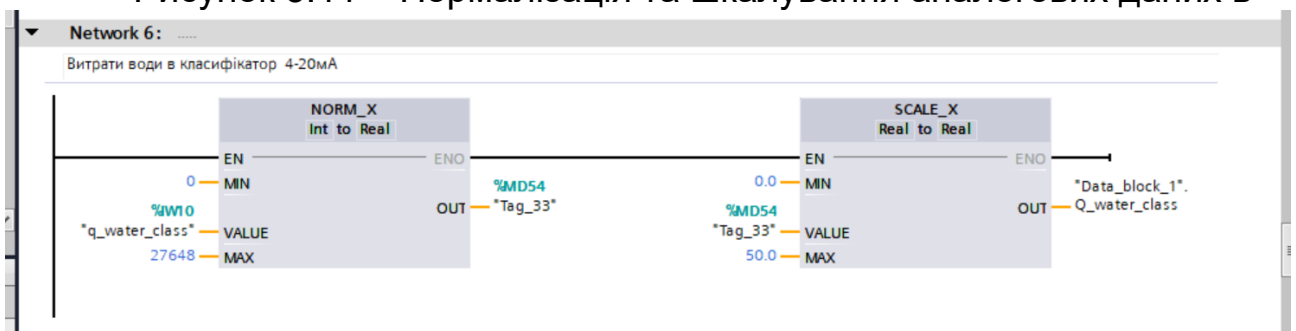


Рисунок 3.11 – Нормалізація та шкалування аналогових даних в



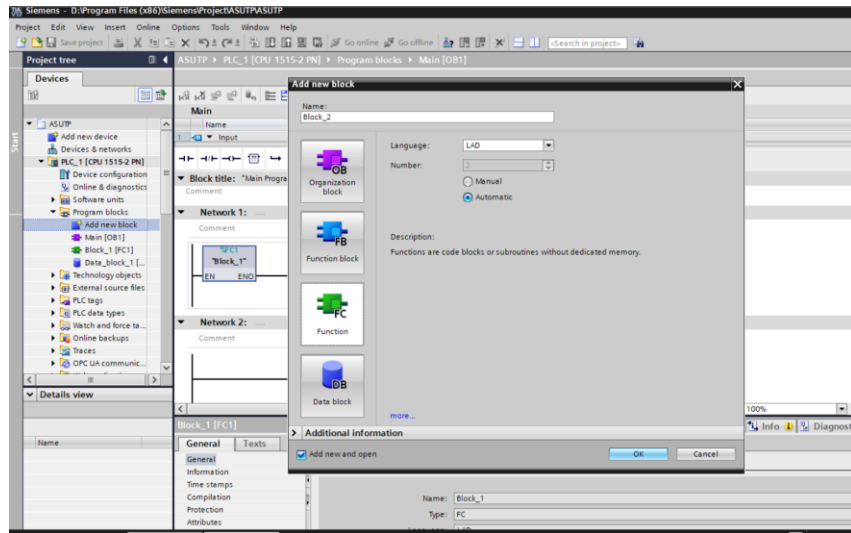


Рисунок 3.12 – Створення 2-го функціонального блоку в середовищі TIA Portal

1) Обробка кнопки пуску і стопу

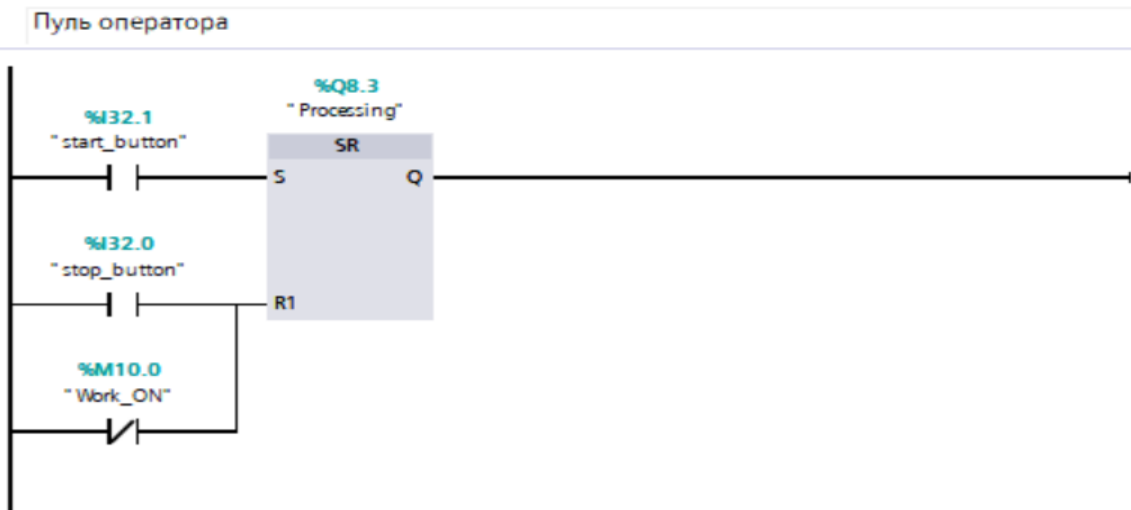


Рисунок 3.13 – Обробка кнопки пуску і стопу

2) Обробка порівнювальних параметрів

Алгоритм для «дозволу на запуск технологічного процесу» по кожному з аналогових сигналів реалізований за допомогою блока порівняння.

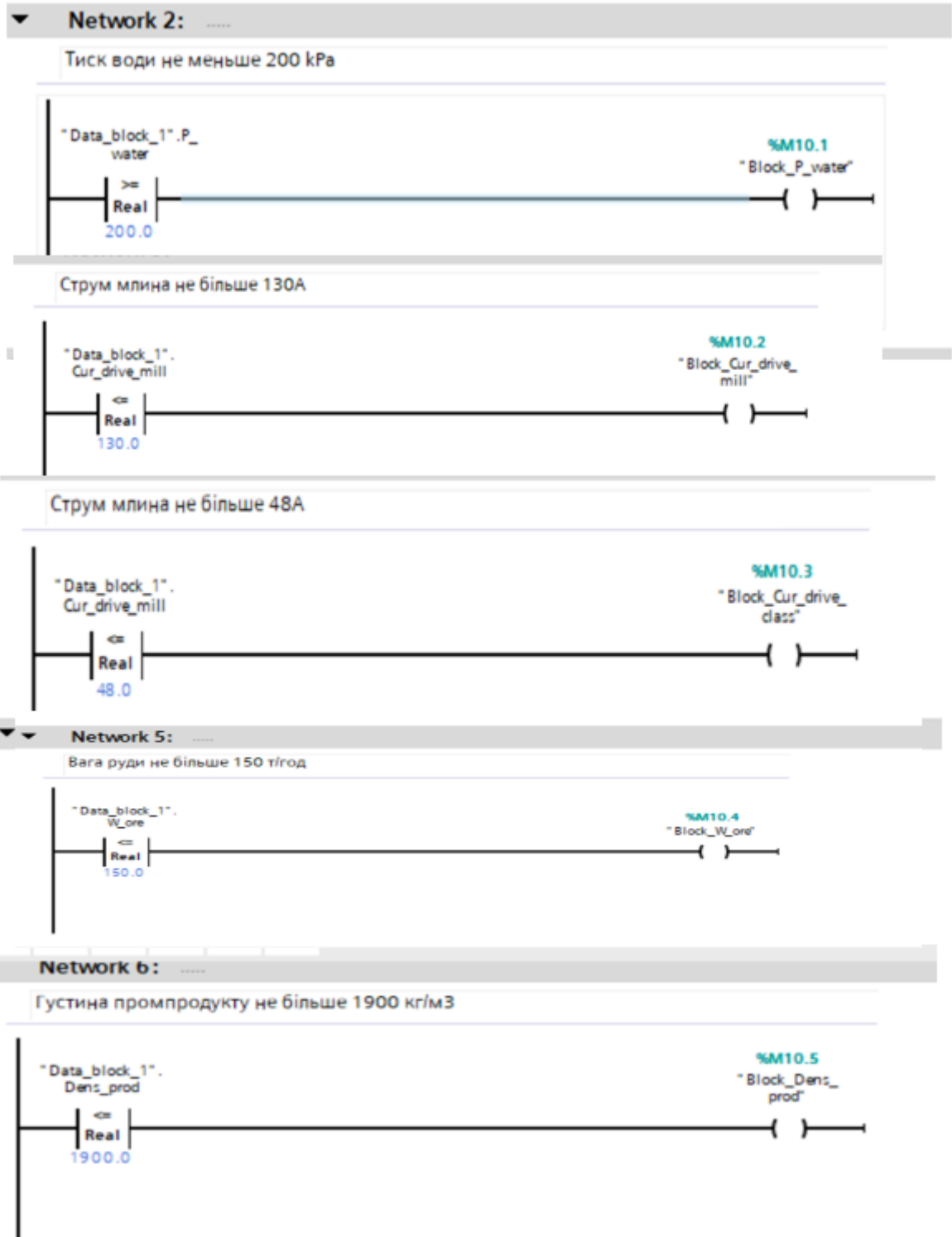


Рисунок 3.14 - Алгоритм для «дозволу на запуск технологічного процесу» по кожному з аналогових сигналів в середовищі TIA Portal

Коли значення всіх аналогових сигналів знаходяться в допустимих межах схема дає дозвіл на збірку котушки Work ON. І в цьому випадку є дозвіл на запуск Processing.

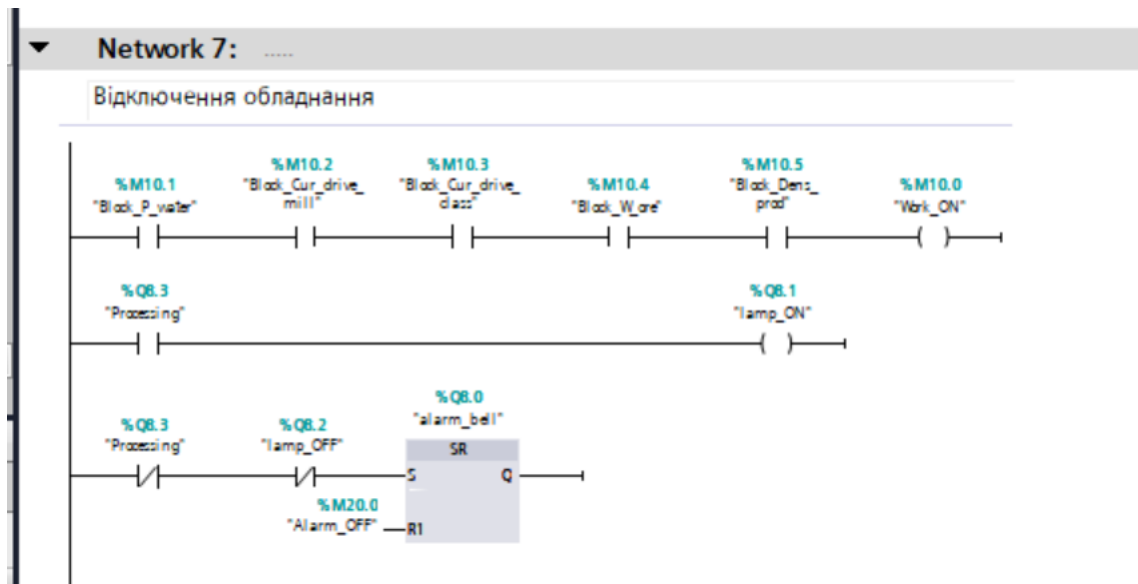


Рисунок 3.15 – Індикація за допомогою лампи «дозволу на запуск технологічного процесу» в середовищі TIA Portal

Сформований сигнал на відключення лампи.

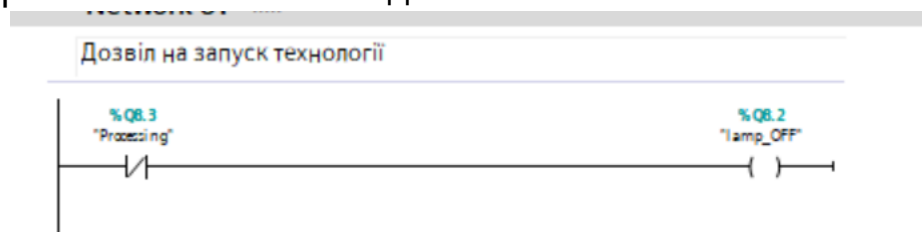


Рисунок 3.16 – Індикація за допомогою лампи «дозволу на запуск технологічного процесу» в середовищі TIA Portal

Розроблено схему запуску основного обладнання по черзі із затримкою 30 секунд.

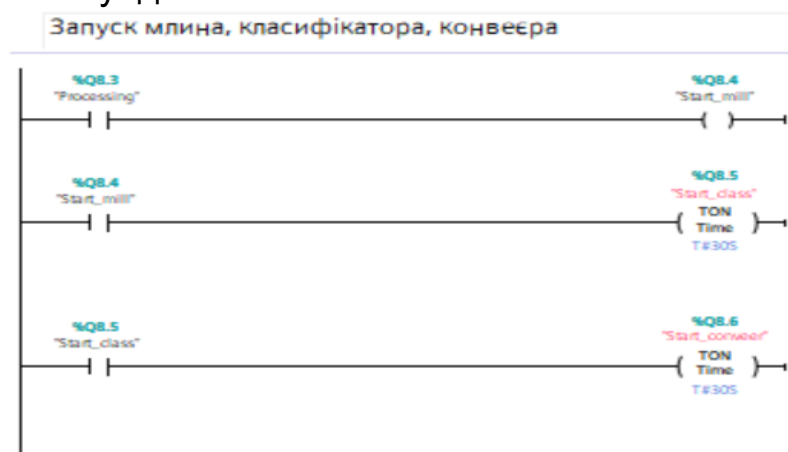


Рисунок 3.17 – Схема запуску основного обладнання по черзі із затримкою 30 секунд в середовищі TIA Portal

3.3.5 Налаштування PID регулювання

В блоці OB-30 до кожної з систем регулювання були додані відповідні PID регулятори.

Регулювання подачі руди в млин виконується по навантаженню електродвигуна, з уставкою -120 А, вхідні дані з блока перетворювача токової загрузки млина, вихідні дані – швидкість руху стрічки конвеєра.

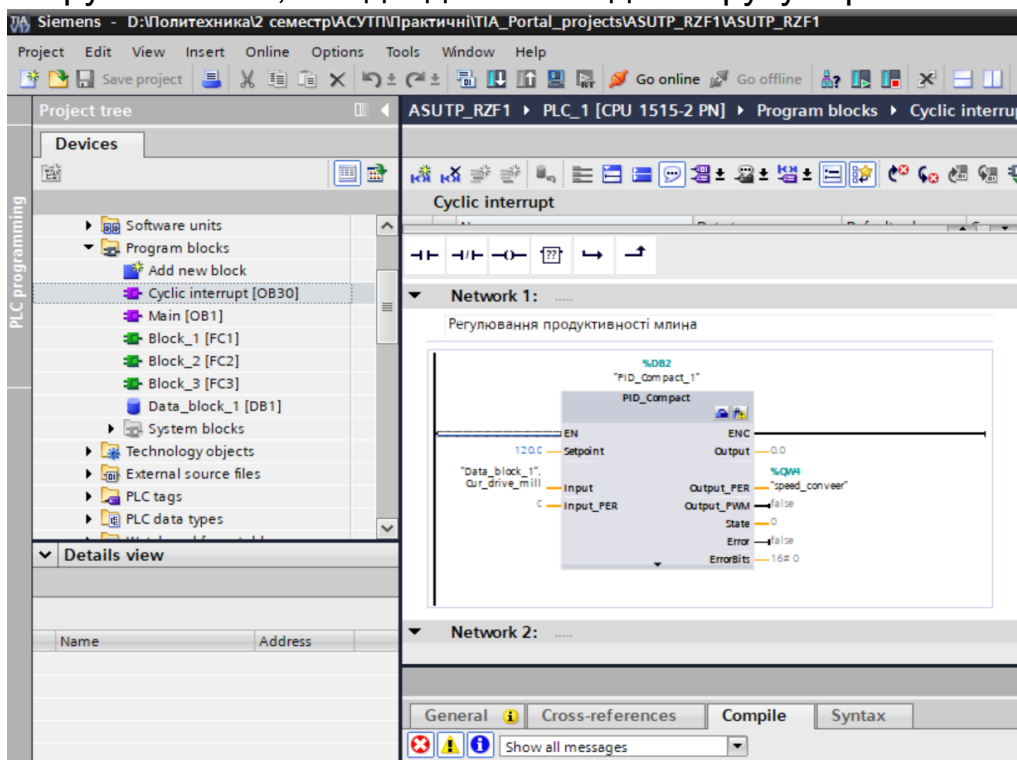


Рисунок 3.18 – ПІД-регулятор в системі регулювання продуктивності млина в середовищі TIA Portal

Регулювання подачі води в млин виконується по співвідношенню поданої руди в млин як 1: 1,3. Тому перед блоком регулятора розташовано блок калькулятор, який перемножує кількість руди на коефіцієнт 1,3, що надалі буде уставкою для блока регулювання. Вхідні дані з лічильника рідини, вихідні дані – положення засувки.

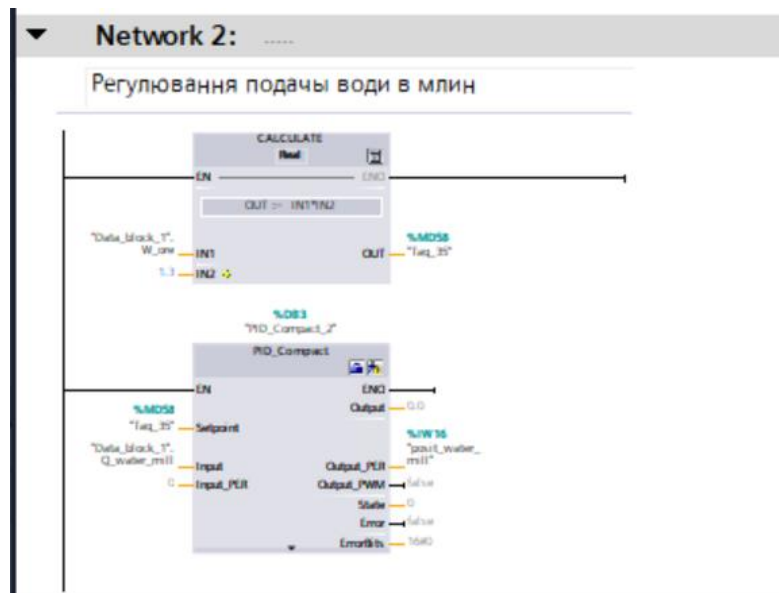


Рисунок 3.19 – ПІД-регулятор подачі води в млин в середовищі TIA Portal

Регулювання подачі води в класифікатор виконується по завданню густини промпродукту. Уставкою для блока регулювання буде 1700 кг/м^3 , вхідні дані з густиноміра, вихідні дані – положення засувки.

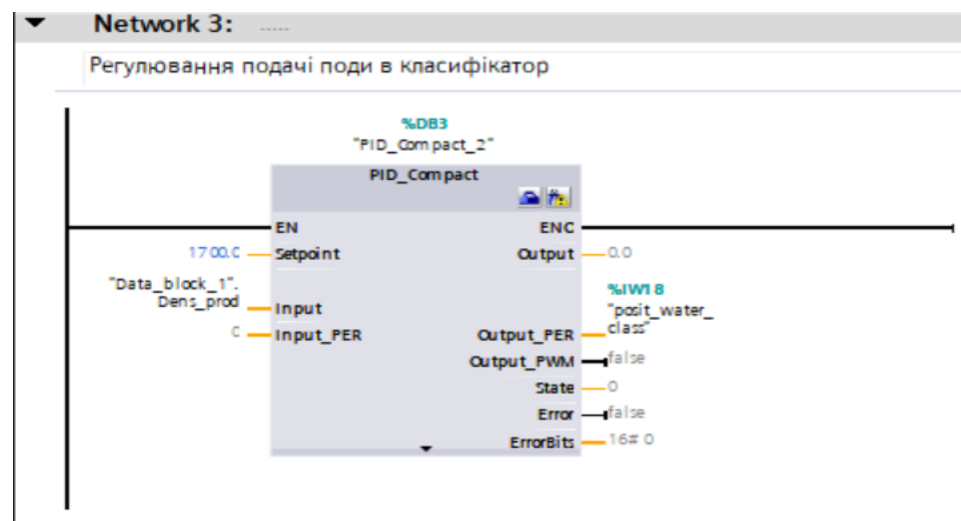


Рисунок 3.20 – ПІД-регулятор подачі води в класифікатор в середовищі TIA Portal

3.4 Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення системи прогнозування продуктивності млина

3.4.1 Постановка задачі проектування системи прогнозування продуктивності млина з використанням нейрорегулятора

Система прогнозування оптимальної продуктивності млина для стабілізації якісних характеристик готової продукції передбачає додаткове вимірювання поточного значення вмісту заліза магнітного у вхідній руді, порівняння його із заданим (плановим) та фактичним значенням заліза

загального на виході та корекцію заданої продуктивності млина в залежності від величини відхилення планового та фактичного значення заліза загального на виході та вмістом заліза магнітного у вихідній руді з урахуванням затримки за даними для порівняння на час технологічного процесу, тобто на час поки сировина (вхідна руда) пройде через технологічний процес подрібнення, класифікації та 5 стадій магнітної сепарації.

Таке завдання можна вирішити за допомогою штучного інтелекту, з використанням якого було розроблено цифрову модель прогнозування з подальшим коригуванням завдання в САР продуктивності млина.

На рис. 3.21 зображена схема технологічного процесу збагачення як об'єкту управління з вказанням корегувальних впливів системи прогнозування оптимальної продуктивності.

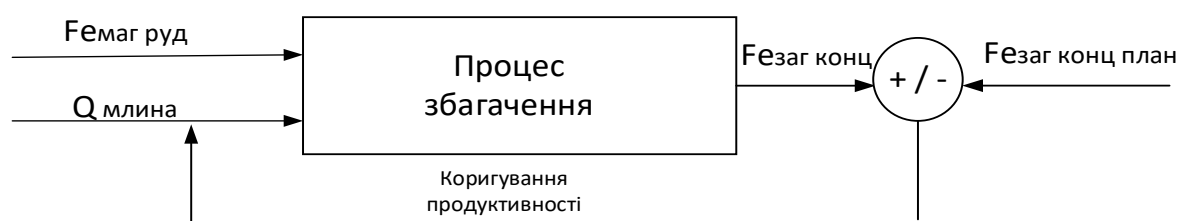


Рисунок 3.21 – Схема вхідних і вихідних впливів на технологічний процес збагачення, а також корегувальні впливи в систему прогнозування оптимальної продуктивності млина

Для вирішення задачі адаптації математичної моделі до особливостей технологічного процесу збагачення доцільно застосування нейронного регулятора.

При побудові нейрорегулятора можливе застосування відомих методів синтезу нейронних мереж (НМ). Нейронні мережі можна поділити на три основні види (типи) за методами їхнього навчання: мережі Кохонена з навчанням "без вчителя"; динамічні мережі Хопфілда з навчанням методом послідовного підкріплення знань; мережі прямого та зворотного поширення [6].

Алгоритм навчання нейронної мережі визначається набором навчальних правил. Навчальні правила визначають, як змінюються міжнейронні зв'язки у відповідь на вхідний вплив. Існує кілька правил навчання НМ: зворотного поширення помилки, квазиньютонівські методи, різні градієнтні методи тощо.

Найпростіший спосіб навчання нейронної мережі – по черзі змінювати коефіцієнти мережі (вагу зв'язку) в такий спосіб, щоб оптимізувати критерій якості роботи мережі (середньоквадратичне

відхилення). Цей метод є малоефективним. Більш ефективним способом налаштування мережі є визначення градієнта помилки за вагою зв'язків. За цим способом всі ваги змінюються відразу на величину, пропорційну відповідної похідної. Одним із відомих алгоритмів, що дозволяють обчислити градієнт помилки, є алгоритм зворотного поширення помилки.

В даний час є кілька підходів для побудови нейроконтролерів на базі багат шарової НМ прямого та зворотного поширення. Усі вони являють собою послідовну чи паралельну схему нейроуправління [8]. Найбільш підходящою для застосування в управлінні технологічним процесом збагачення є послідовна схема включення нейрорегулятора. Ця схема стала традиційною при побудові систем управління з урахуванням нейронних мереж і полягає в попередньому навчанні. Навчання проводиться на безлічі співвідношень вхід-вихід об'єкта, отриманих при проведенні експерименту на об'єкті та його моделі.

Завданням використання нейронного регулятора є видача скоригованого керуючого вхідного сигналу (продуктивності млина), отриманого з бази даних (знань). Це завдання вирішується шляхом навчання НМ на прикладах з навчальної множини. Критерієм навчання є середньоквадратична помилка навчання E .

Для отримання помилки узагальнення та оцінки часу прогнозування поведінки об'єкта управління необхідна адаптація НМ за тестовою вибіркою. У цьому випадку обчислювана помилка E буде зовнішнім критерієм, що дозволяє оцінити час прогнозування помилки моделювання [9].

Таким чином, для системи прогнозування оптимальної продуктивності пропонується застосувати нейронний регулятор нечіткого управління (рис. 3.22).

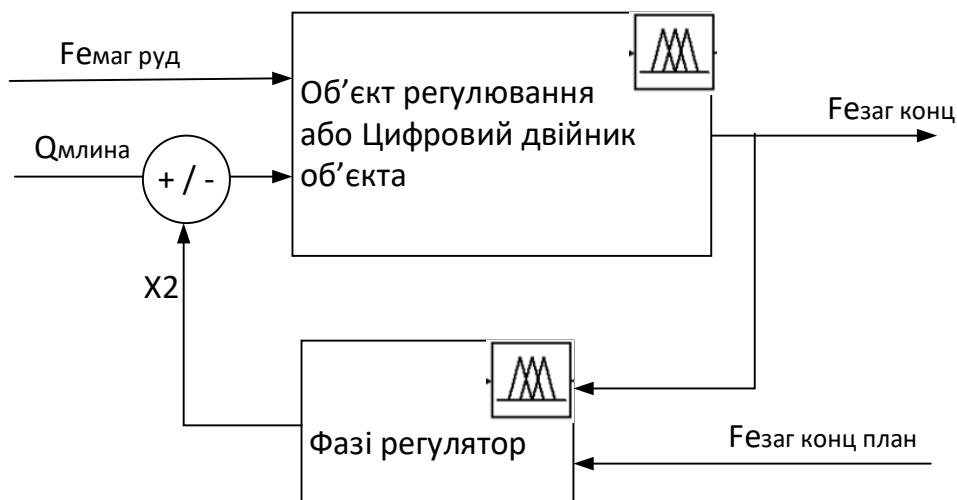


Рисунок 3.22 – Схема включення нейрорегулятора нечіткого управління

Процес проектування модуля нечіткого управління завершується визначенням форми подання нечітких множин A_i^k , $i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, N$. Як форма нечітких множин застосована функція Гауса:

$$\mu_{A_i^k}(x_i) = \exp \left[- \left(\frac{x_i - \bar{x}_i^k}{\sigma_i^k} \right)^2 \right], \quad (3.1)$$

де \bar{x}_i^k і σ_i^k – параметри, що мають фізичну інтерпретацію;

\bar{x}_i^k – центр; σ_i^k - ширина гаусової кривої.

За використанням програми Anfis MatLab FuzzyLogicToolbox реалізовано модуль нечіткого керування, що зображений на рис. 3.22.

На схемі (рис. 3.23) показаний модуль управління двома входами ($n=2$). Шари позначені символами від L1 до L4. Елементи шару L1 реалізують функцію Гауса (3.1) з параметрами. У наведеній структурі виділено чотири шари.

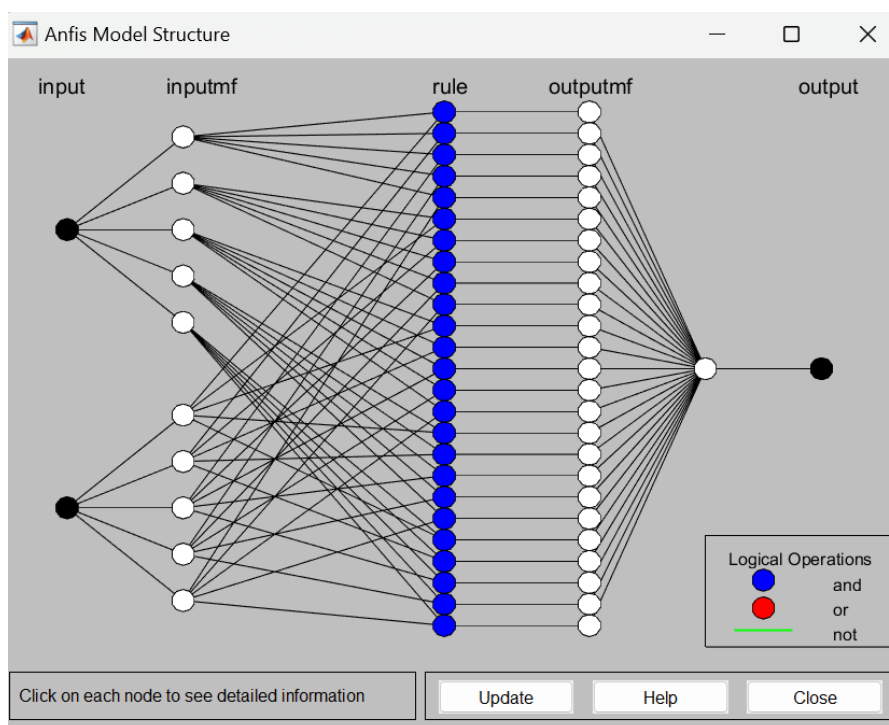


Рисунок 3.23 – Структурна схема модуля нечіткого керування

Шар 1 (L1): Кожен його елемент реалізує функцію приналежності непарної множини A_i^k , $i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, N$. У цей шар надходять вхідні сигнали \bar{x}_i , але в його виході формуються значення функції власності цих сигналів, тобто $\mu_{A_i^k}(\bar{x}_i)$. Фактично, у цьому шарі оцінюється ступінь

належності вхідних даних \bar{x}_i до відповідних непарних множин A_i^k . Функціональна залежність між входом і виходів вузлах цієї мережі визначається формулою (3.1).

Її параметри \bar{X}_i^k и σ_i^k інтерпретуються відповідно як центр та ширина цієї функції. Кількість елементів шару L1 дорівнює кількості всіх множин із належністю A_i^k . У разі $N=25$ непарних правил ($k=1, \dots, 25$) і $n=2$ вхідних змінних ($i=1, 2$) з урахуванням те, що у кожному правилі будь-яка вхідна змінна пов'язані з іншим непарним безліччю, кількість вузлів (елементів шару L1) дорівнює 25.

Шар 2 (L2): Конфігурація зв'язків цього шару відповідає основі правил, а мультиплікатори – блоку виведення. На виході шару L2 формується результат виведення як значення функції приналежності $\mu_{\bar{B}^k}(\bar{y}^k)$. Кількість елементів цього шару дорівнює кількості правил N .

Кожен вузол пов'язаний з попереднім шаром таким чином, що вузол шару L2, відповідний правилу, з'єднаний з усіма вузлами шару L1, відповідними нечітким безліччю суджень цього правила. Застосування мультиплекторів як вузли шару L2 обумовлено тим фактом, що для Т-норми, декартового твору множин і нечіткої імплікації використовується операція множення.

Шари 3 (L3) та 4 (L4): Обидва шари є реалізацією блоку дефазифікації, що реалізує залежність (1). Вага зв'язків, що сягають верхнього вузла шару L3 і позначені \bar{y}^k , інтерпретуються як центри функцій належності нечітких множин B^k . На виході шару L4 формується чітке (дефазифіковане) вихідне значення модуля керування \bar{y} .

3.4.2 Реалізація системи прогнозування продуктивності млина з використанням нейрорегулятора

Під час переддипломної практики були отримані дані щодо роботи технологічної секції рудозбагачувальної фабрики. Для використання наявних даних в якості бази знань для навчання нейромережі необхідно імпортувати вихідні дані роботи об'єкта управління у Workspace Matlab у вигляді числової матриці (рис. 3.24).

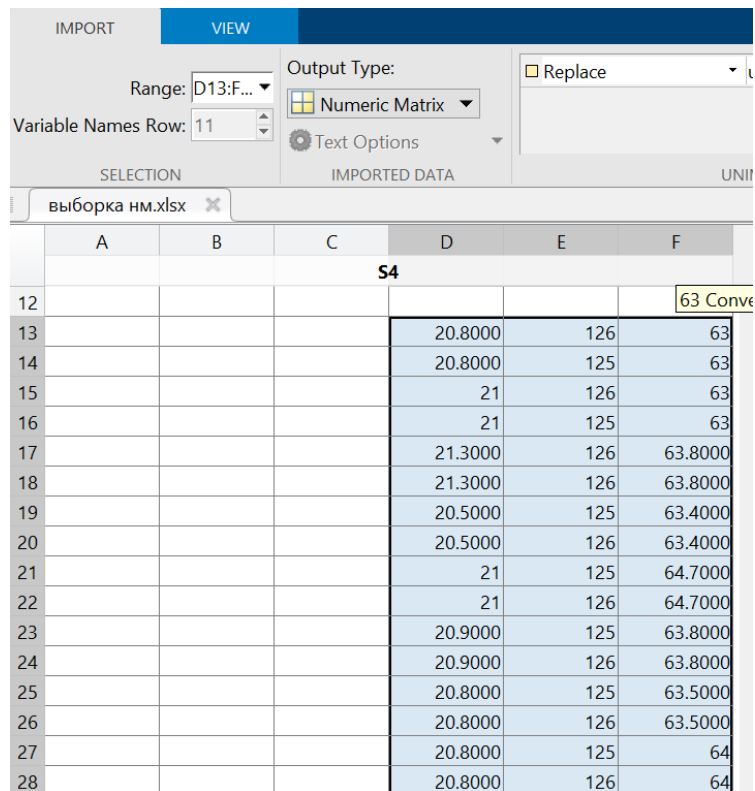


Рисунок 3.24 - Імпорт бази даних у Workspace Matlab

У модулі ANFIS завантажили базу даних *S4 (Load Data)*, попередньо здійснив налаштування: Type – Training Data; From – worksp. (рис. 3.25)

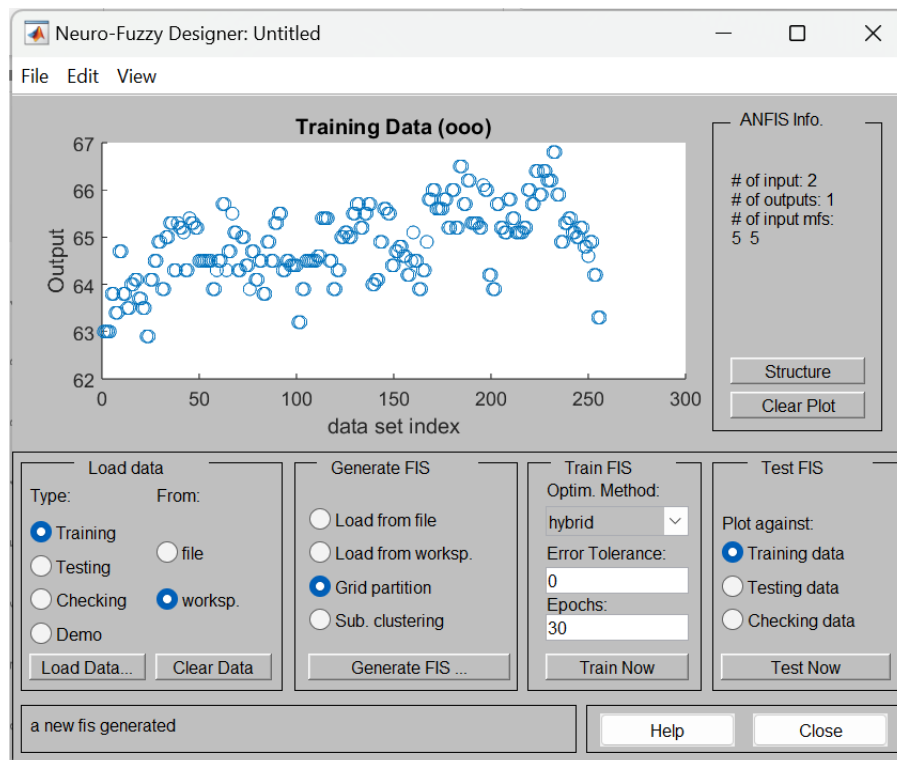


Рисунок 3.25 – Результат завантаження бази даних до модуля ANFIS

Після завантаження даних у меню була побудована система нечіткого логічного висновку *Generate FIS* з генеруванням опису вхідних змінних за методом решітки (без кластеризації) - *Grid partition* з параметрами, що вказані на рис.3. 26.

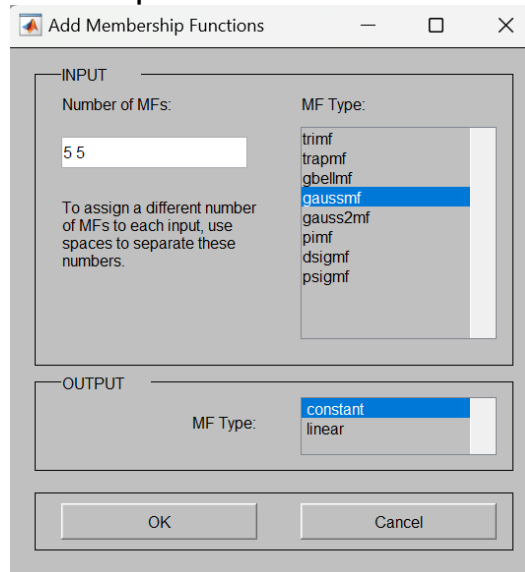


Рисунок 3.26 – Параметри методу решітки

Згенерована структура системи нечіткого логічного виводу представлена у вигляді нейро-нечіткої мережі (рис. 3.23). Для даного випадку кількість входів мережі дорівнює 2 - кількості стовпців навчальної вибірки. Кількість нейронів 2-4 шарів відповідає кількості правил, що дорівнює 25.

Навчання побудованої нейронечіткої моделі реалізовано гібридним методом оптимізації з заданою точністю навчання (*Error tolerance=0*) впродовж 30 ітерацій навчання (*Epochs*). Проміжні результати навчання наведені на рис. 3.27.

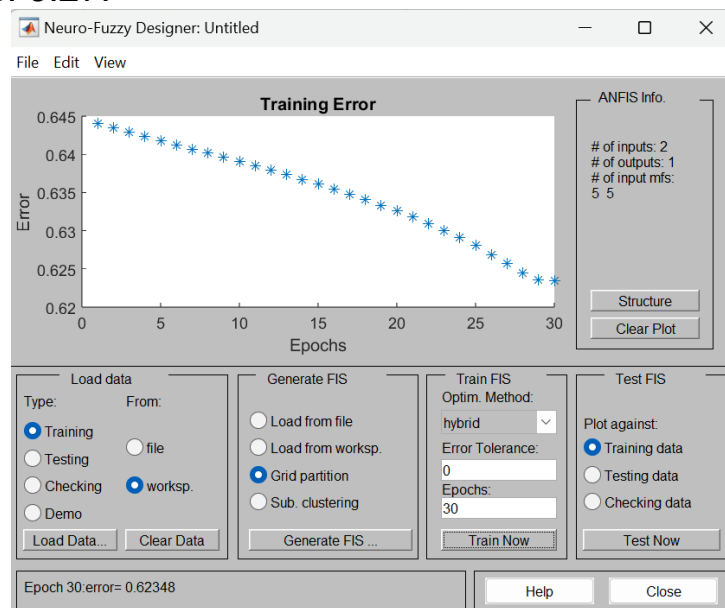


Рисунок 3.27 – Проміжні результати навчання нейромережі

По завершенню навчання за отриманими даними *Training Data* проводиться тестування нейронечіткої системи (*Test FIS*) (рис. 3.28).

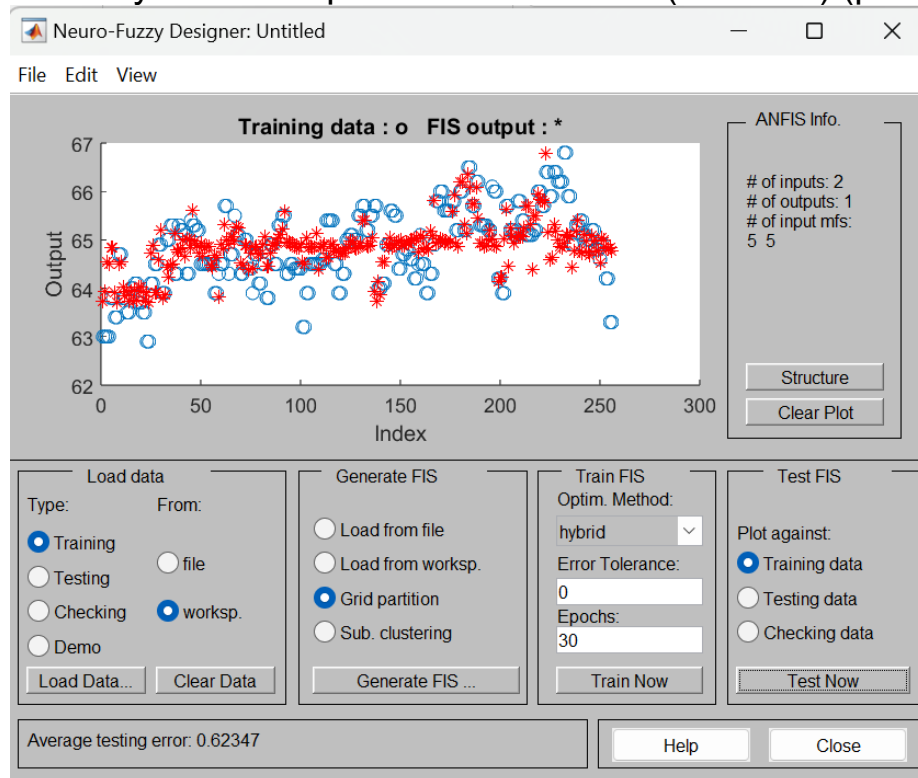


Рисунок 3.28 – Результати тестування нечіткої системи

В редакторі системи нечіткого висновку (Fuzzy Inference System – FIS) наявний її опис, що відповідає налаштуванням, здійсненим *Generate FIS* (рис. 3.26).

Для опису вхідних та вихідних логічних змінних у *Generate FIS* призначено функції приналежності Гауса. Результат налаштування функцій приналежності змінних наведено на рис. 3.29.

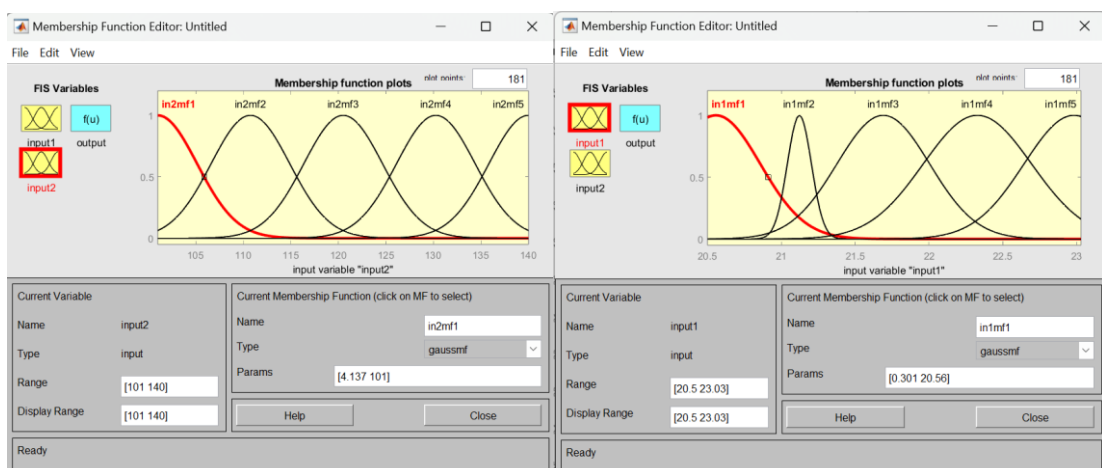


Рисунок 3.29 – Результат налаштування функцій приналежності змінних

Сформульовані правила управління (рис. 3.30).

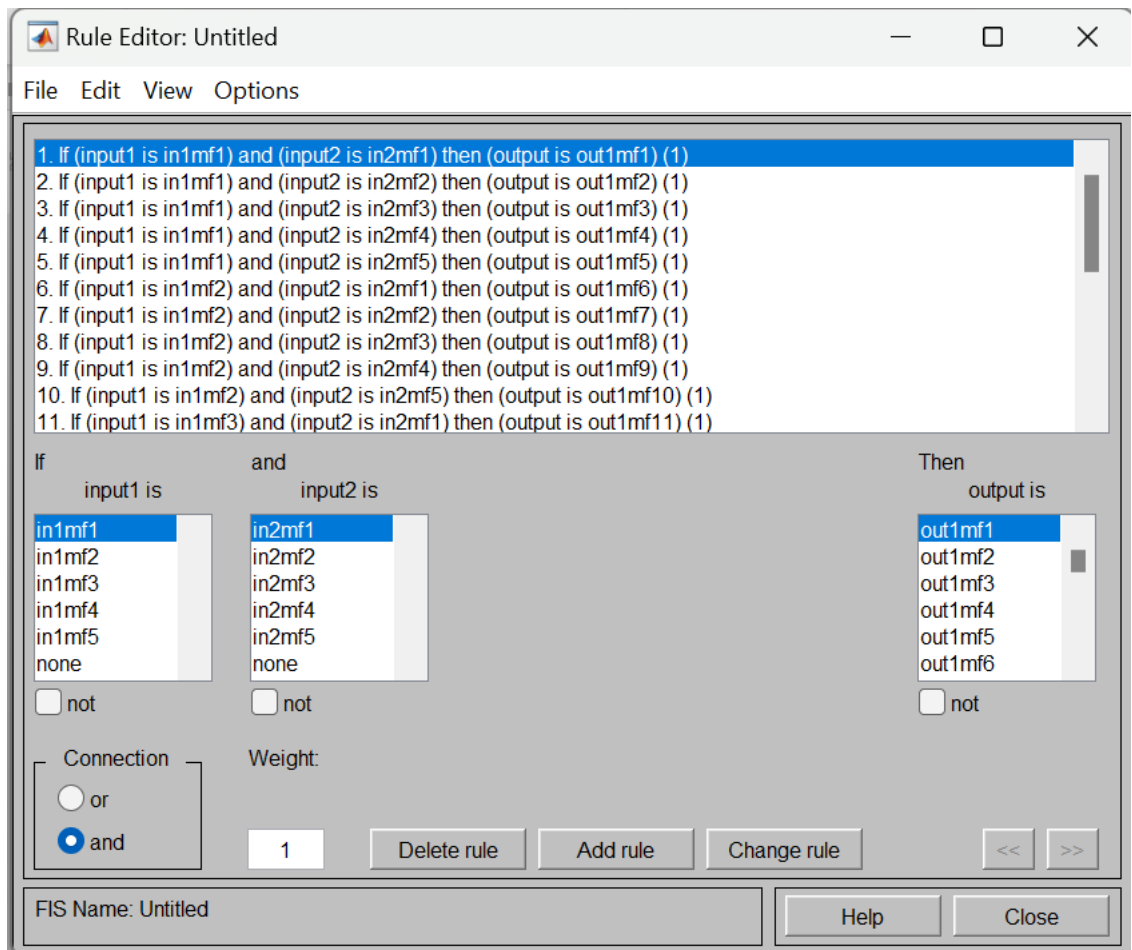


Рисунок 3.30 – Налаштування опису правил функціонування нечіткого супервізора НЛР_ПІД

Результати роботи системи нечіткого висновку за різних вхідних даних наведені на рис. 3.31.

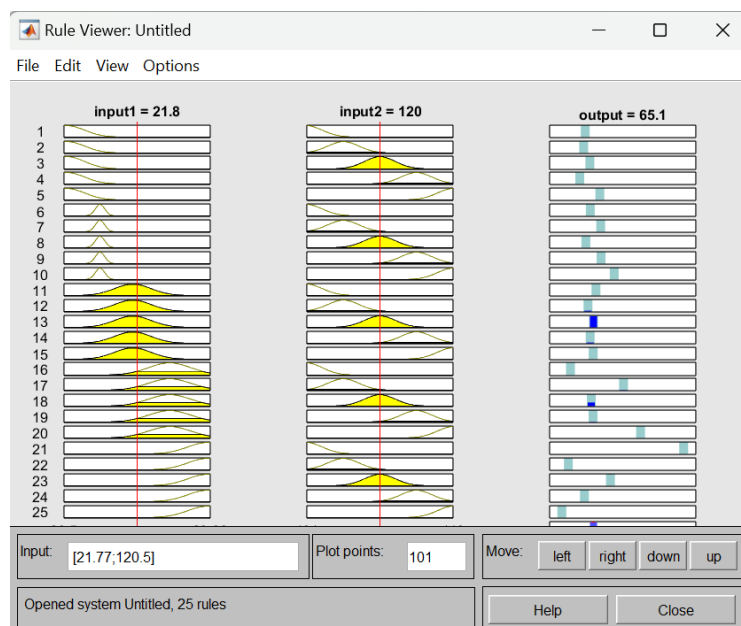


Рисунок 3.31 – Робота системи нечіткого висновку

Графічне подання закону управління наведено на рис. 3.32.

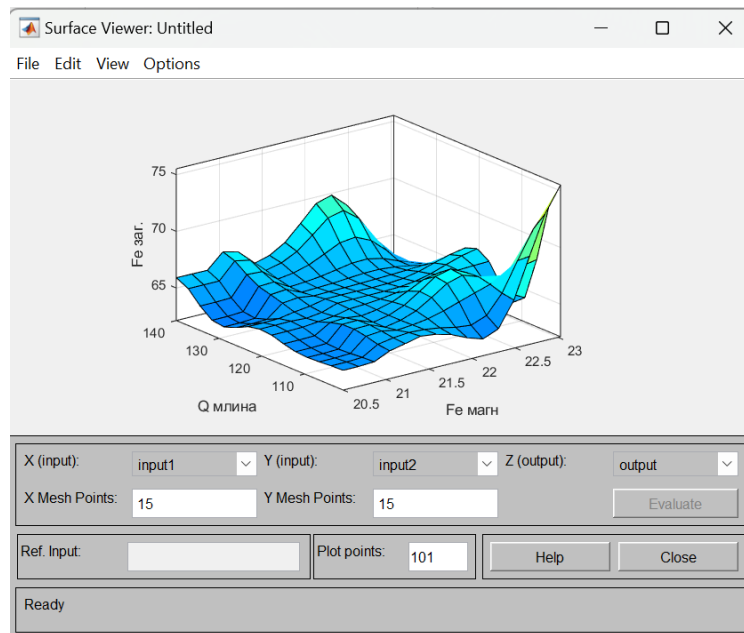


Рисунок 3.32 – Робота системи нечіткого висновку

Для перевірки функціонування згенерованої нечіткої системи управління за базою даних побудована Simulink модель системи (рис. 3.33).

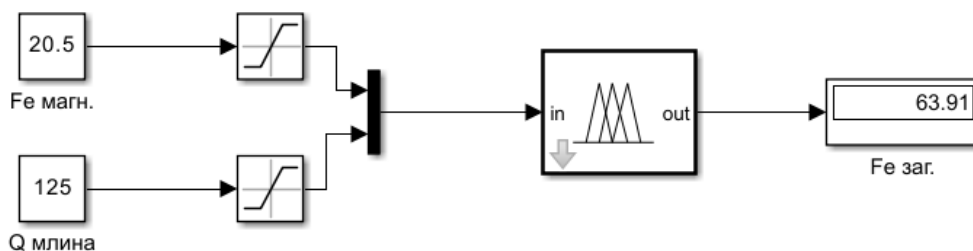


Рисунок 3.33 – Simulink модель функціонування згенерованої нечіткої системи управління за базою даних

Перевірка правильності функціонування моделі здійснюється шляхом завдання на вхід Fuzzy Logic Controller двох вхідних параметрів x_1 та x_2 з бази даних. При вірному налаштування нечіткої системи управління на виході Fuzzy Logic Controller формується відповідне значення y .

Для вирішення задачі управління продуктивністю млина (Q млина) для отримання на виході математичної моделі заданого значення якості готової продукції (Fe заг.) в залежності від заданого планового значення готової продукції (Fe план) нейро-нечіткий регулятор застосовано у вказаній системі управління.

Проведені налаштування нечіткої логічної системи (рис. 3.34).

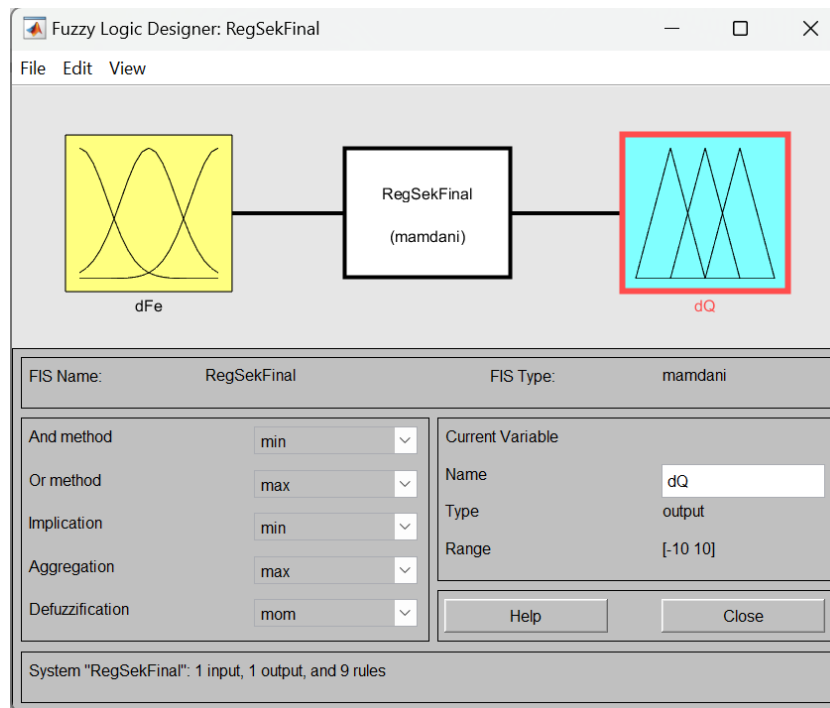


Рисунок 3.34 – Налаштування нечіткої логічної системи

Задано тип системи нечіткого логічного висновку – Mamdani з логічним зв'язком (And method – min) та (Or method – max), видом імплікації (Implication – min), способом агрегування висновків правил (Aggregation – max) та методом дефазифікації (Defuzzification – mom).

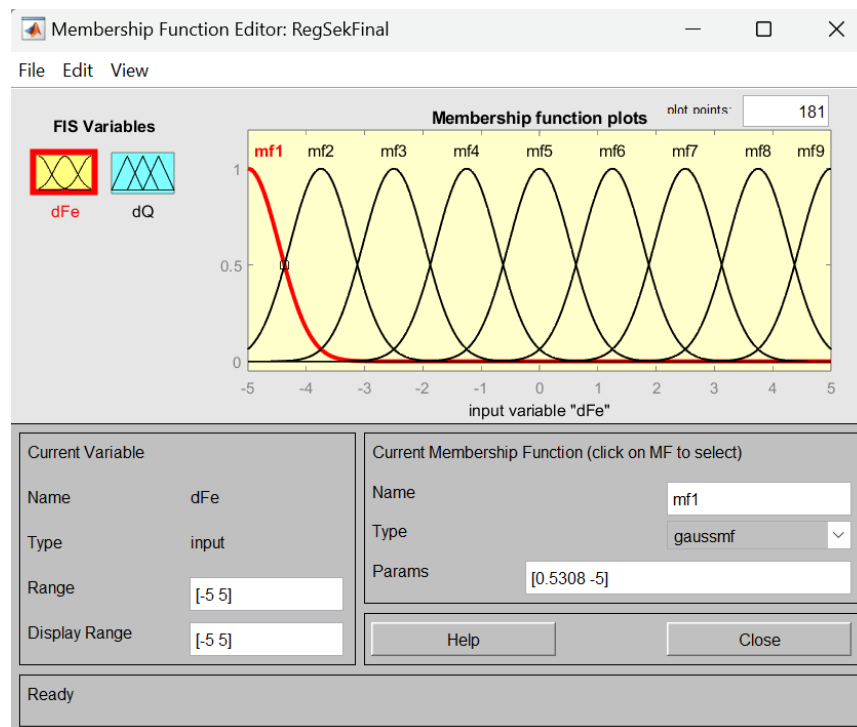


Рисунок 3.35 – Приклад налаштування *Membership Function Editor*

Опис вхідних та вихідних лінгвістичних змінних та правил для даного випадку наведений на рис. 3.36. Робота системи нечіткого логічного висновку за різних вхідних даних наведена на рис. 3.37.

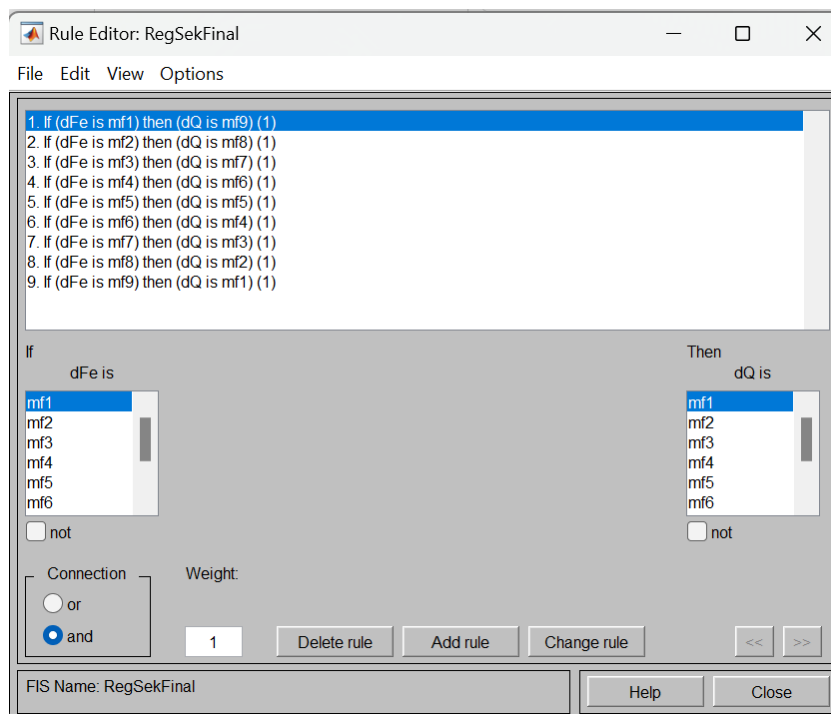


Рисунок 3.36 – Опис вхідних та вихідних лінгвістичних змінних та правил

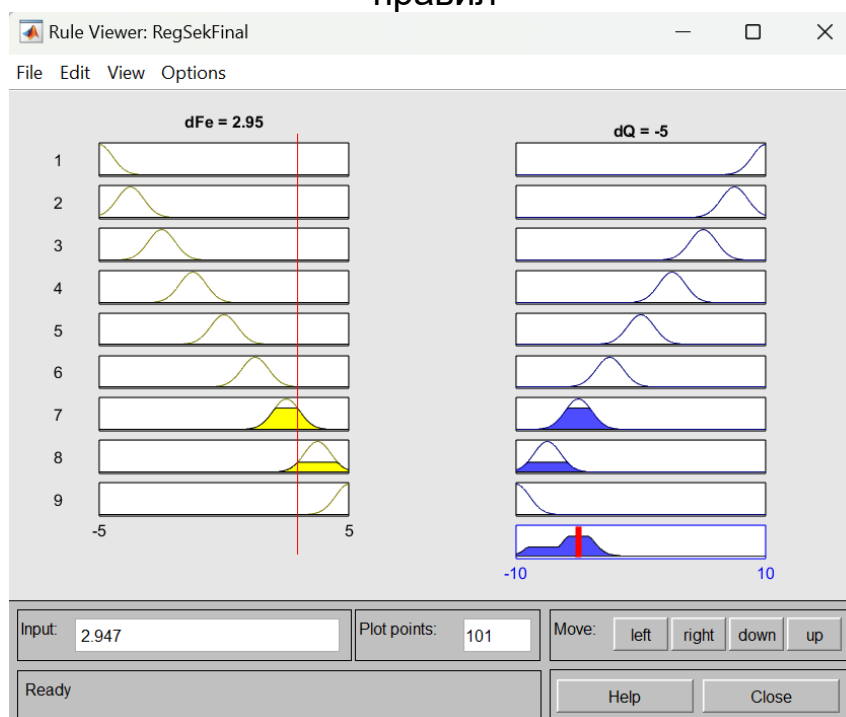


Рисунок 3.37 – Робота системи нечіткого логічного висновку

Графічне подання закону управління наведено на рис. 3.38.

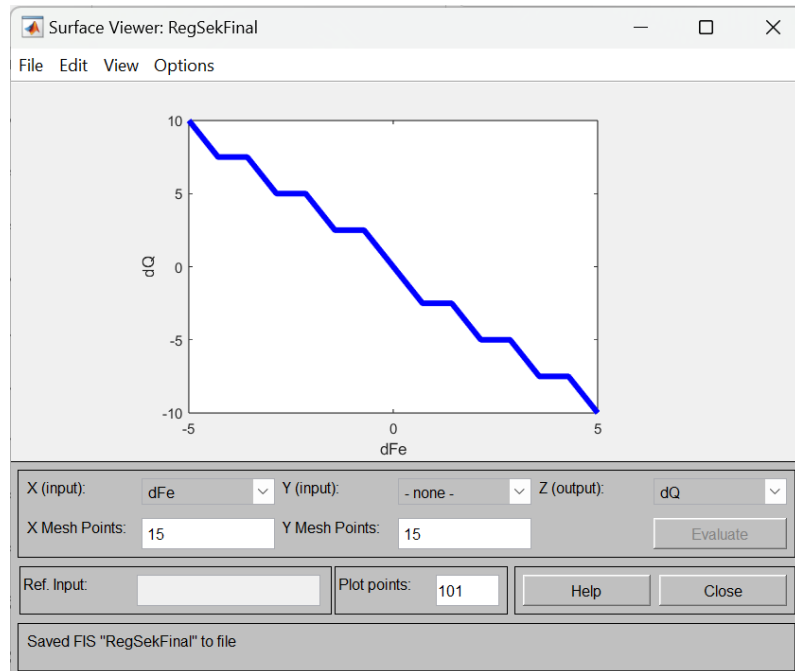


Рисунок 3.38 – Апроксимаційна крива побудована системою нечіткого логічного висновку

Перевірка працездатності новоствореної системи нечіткого логічного висновку виконана при моделюванні в Simulink системи прогнозування якісних показників продукції з нейро-нечітким регулятором (рис. 3.39)

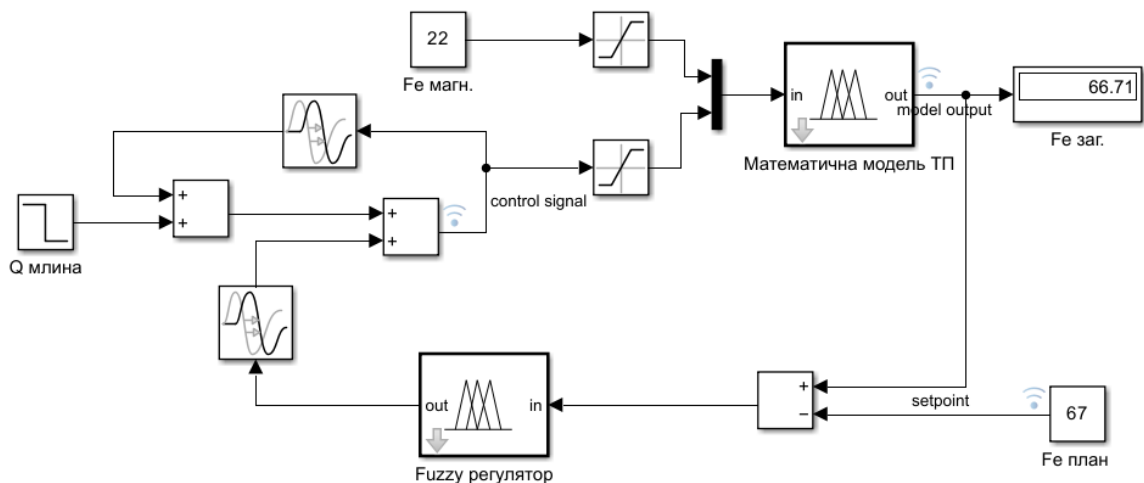


Рисунок 3.39 – Модель системи прогнозування якісних показників продукції з нейро-нечітким регулятором

Результати роботи змодельованої системи наведені на рис. 3.40.

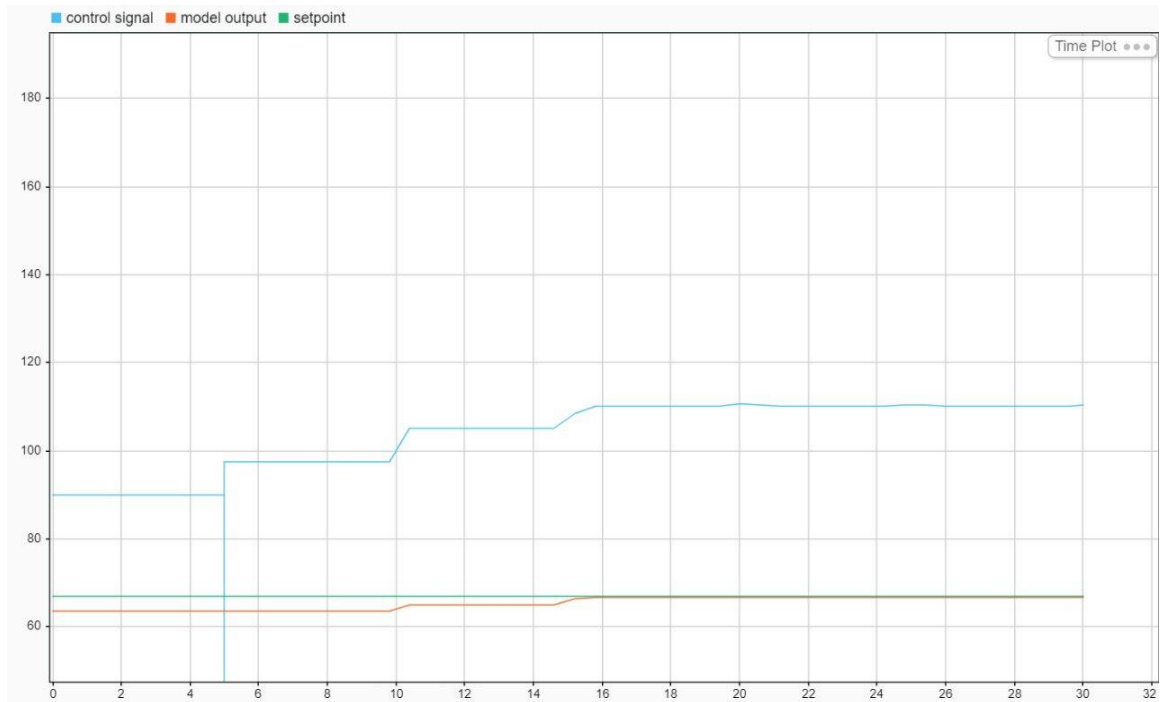


Рисунок 3.40 – Графік перехідного процесу в змодельованій системі

Як видно з рис. 3.40, вихідний параметр системи управління з нейро-нечітким регулятором досягає заданого значення якості $F_{e_{заг}}$ в готовій продукції. Відхилення (0,29) від планового значення можна вважати похибкою математичної моделі технологічного процесу, що не перевищує показник у 5%.

З наведених результатів можна зробити висновок, що запропонована модель системи прогнозування якості готової продукції з нейро-нечітким регулятором може бути ефективною при впровадженні.

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

В даному розділі пропонується розглянути економічний ефект від обладнання секції збагачення рудозбагачувальної фабрики кульового подрібнення системою АСУТП.

Основний ефект, який дає автоматизація секції збагачення - це приріст продуктивності з переробки руди і, як наслідок, приріст продуктивності виробництва концентрату.

Основні припущення та пропозиції до розрахунку ефекту викладені в таблиці 4.1:

Таблиця 4.1 – Основні припущення та пропозиції до розрахунку ефекту

№ з/п	Припущення	Од. виміру	Значення показника	
			без реалізації проекту	з реалізацією проекту
1	Годинна продуктивність секції з переробки руди	т/ч	228	231
2	Годинна продуктивність секції з виробництва концентрату	т/ч	83,4	84,5
3	Приріст годинної продуктивності секції по концентрату	т/ч		1,1*
4	Коефіцієнт використання обладнання РЗФ-1	%	Без змін	
5	Собівартість виробництва концентрату РОФ-1 (змінна частина)	грн./т	Без змін	
6	Ціна ел. енергії	грн./кВтч	Без змін	
7	Питома витрата ел. енергії РЗФ-1	кВтч/т	Без змін	

* оцінка приросту годинної продуктивності секції прийнята в розрахунок виходячи з аналізу ручної імітації роботи АСУТП секції №1 та потокового аналізу, прибираючи розриви у часі з управління процесом та стабілізуючи продуктивність.

Впровадження АСУТП дає додатковий випуск готової продукції:

за годину	1,10 т.
за добу	26,4 т.
за місяць	792,00 т.
за рік	9504,00 т.

Ринкова ціна за 1 тону концентрату з вмістом заліза 65%, (65% Fe Fines (CFR Qingdao Port): IOSI65 Price, USD/dmt) згідно даних сайту [13] станом на 26.12.2023 становить 165,96 \$/Т.

Припустимо, що додатковий прибуток від продажу за мінусом витрат на виробництво та логістику складає 20%, тоді додатковий прибуток за 1т концентрату складе – 33,192 \$/т.

Тоді економічний ефект від випуску додаткової продукції за рік складе $9504 \times 15,569 = 315,46$ тис. \$.

Розрахунок вартості запроєктованої системи АСУТП:

Вартість обладнання складає приблизно – 170 тис. \$;

Вартість будівельно-монтажних робіт – 250 тис.\$;

Вартість проектних робіт приймаємо 10% від будівельно-монтажних робіт – 25 тис. \$;

Вартість налагоджувальних робіт, а також супровід системи на початковому етапі експлуатації приймаємо 10% від будівельно-монтажних робіт– 25 тис. \$;

Разом вартість системи АСУТП складає 470 тис.\$.

Тоді термін окупності системи складає $470/315,46 = 1,489$ років, або 1 рік і 6 місяців.

ВИСНОВКИ

Автоматизація технологічних процесів рудозбагачувальної фабрики дає можливість підвищити рентабельність виробництва за рахунок оптимального ведення процесу подрібнення класифікації та магнітної сепарації, а разом з системою прогнозування оптимальної продуктивності млина і стабілізації – зниження коливань якісних характеристик готової продукції, і, як наслідок, зниження питомих витрат енергоресурсів.

В кваліфікаційній роботі розглянуті можливі варіанти постановки задачі автоматизації рудозбагачувальної фабрики. Запропоновано варіант автоматизації технологічного блоку першої стадії подрібнення класифікації та магнітної сепарації, що визначає режим роботи всіх наступних стадій збагачування.

На підставі Стандарту АСУ ТП Метінвест Холдингу, а також вимог технологічного процесу, викладених в технологічній інструкції, запропонована модернізація метрологічного забезпечення та технічних засобів автоматизації.

З використанням програмного продукту TIA Portal розроблено програмне забезпечення контролера Siemens для систем регулювання технологічними параметрами секції рудозбагачувальної фабрики.

Розроблено нейро-нечітку систему прогнозування оптимальної продуктивності млина для стабілізації якісних характеристик готової продукції з використанням програмного забезпечення ANFIS Matlab.

Виконано розрахунок очікуваного економічного ефекту від впровадження запропонованого рішення для АСУТП секції збагачення рудозбагачувальної фабрики.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Азарян, А. А., Кривенко, Ю. Ю., Кучер, В. Г. Аналіз актуальності розвитку інформаційних технологій для оптимізації роботи першої стадії збагачення. Вісник Криворізького національного університету, 2014, №36. 275-280.
2. Спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнювання магнетитових руд: патент 39942 / Азарян А.А., Дрига В.В., Мордовін Д.М., Кучер В.Г., Цибулевський Ю.Є.; власник патенту КТУ; завл. 07.07.2008; опубл. 25.03.2009, Бюл №6.
3. Назаренко В. М. Управління роботою гірничозбагачувального комбінату при використанні інформаційних технологій 21-го сторіччя / В. М. Назаренко, М. В. Назаренко, С. А. Хоменко, А. І. Купін // Академічний вісник Криворізького територіального відділення Міжнародної Академії комп'ютерних наук та систем. – 2001. – № 7–8. – С. 43–49.
4. И. С. Конох, В. В. Найда Аналіз актуальності розвитку інформаційних технологій для оптимізації роботи першої стадії збагачення. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 5/2014 (88). 68
5. ТІ «Ведення технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах фабрики кульового подрібнення».
6. MacKay, David J. C. (2003). "42. Hopfield Networks". Information Theory, Inference and Learning Algorithms. Cambridge University Press. p. 508. ISBN 978-0521642989.
7. Takahashi Y. Adaptive predictive control of nonlinear time-varying systems using neural networks (англ.) // IEEE International Conference on Neural Networks. ISBN 0780309995.
8. C. D. Manning, K. Clark, J. Hewitt, U. Khandelwal, O. Levy, Emergent linguistic structure in artificial neural networks trained by self-supervision. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 117, 30046–30054 (2020).
9. Berezshnaya, Olena, Razzhivin, Aleksey, Zubenko, Ekaterina (2016). Synthesis of Neural Network Regulator for Electrocontact Surfacing on the Basis of Fuzzy Control Module. Proceedings of the International Symposium on Embedded Systems and Trends in Teaching Engineering: TEMPUS (Nitra), pp.189-194, ISBN: 978-80-558-1041-6.
10. Amosov, M.N.: Neurocomputers and intelligent robots. Kyiv: Naukova dumka. 1991.
11. Zollo, G., Iandoli, L., Cannavacciuolo, A. The performance requirements analysis with fuzzy logic. In: Fuzzy economic review, 1999, Vol. IV, № 1, pp. 35-69.
12. Iron Ore Index price today | Historical Ferrous Metals Price Charts | SMM Metal Market. Steel, Aluminum, Nickel, Rare earth, new energy, Copper Prices Charts and news-Shanghai Metals Market. URL:

<https://www.metal.com/price/Ferrous%20Metals/Iron%20Ore%20Index> (date of access: 26.12.2023).