

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

МАГІСТРА

КРМ.АКС_м - 07.00.00.000 ПЗ

група АКС_м-24-1

Станіслав ГУНДЯК

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем

Гундяк Станіслав Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.516
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Проектування апаратно-програмних засобів системи керування запірною
арматурою на базі PLC “Emerson”
(назва роботи)

Комп'ютеризовані системи управління та автоматика
(назва освітньої програми)

174 - Автоматизація, комп'ютерно – інтегровані технології та робототехніка
(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і
текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня С.В.Гундяк
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник к.т.н. доц. М.Я. Николайчук
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

д.т.н.,проф. Л.М. Заміховський
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем

Освітній рівень магістр

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТТС

д.т.н. проф. Л.М. Заміховський

« » 2025 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Гундяку Станіславу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування апаратно-програмних засобів системи керування запірною арматурою на базі PLC "Emerson"

керівник роботи к.т.н., доц. Николайчук Микола Ярославович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 30 » жовтня 2025 року № 690 / 7

2. Строк подання здобувачем роботи грудень 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Emerson RSTI-EP 205, DAER - 2-3-1, PME 10, навчальний стенд DIGITAP.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. КОМПЛЕКСНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ.

2. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОНФІГУРАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ.

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

1. Дерево проекту. Схема функціональна.

2. Часова діаграма спрацювання протиаварійного захисту.

3. ФВ блок контролю запірної арматури в режимі runtime.

4. Часові діаграми динаміки ходу затвору клапана

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-3	к.т.н. доц. Николайчук М.Я.		

7. Дата видачі завдання: _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	КОМПЛЕКСНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ	05.09.2025	Виконано
2	РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОНФІГУРАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.	12.10.2025	Виконано
3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ	02.12.2025	Виконано
4	ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ	13.12.2025	Виконано

Здобувач _____
(підпис)

Гундяк С.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Николайчук М.Я.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота: 69 арк., 3 розділи, 45 рис., 6 табл., 17 джерел.

Проаналізовано технологічні процеси автоматизованої газорозподільної станції та визначено вимоги до системи керування запірною арматурою. Обґрунтовано вибір сучасного контролера Emerson PACSystems RSTi-EP CPE205 та периферійних модулів серії RSTi-EP для модернізації систем автоматизації.

Розроблено архітектуру прикладного програмного забезпечення в середовищі PAC Machine Edition із застосуванням модульного підходу. Створено імітаційну модель («цифровий двійник») технологічного об'єкта, що відтворює динаміку зміни тиску та кінематику приводів.

Реалізовано алгоритми автоматичного регулювання, пріоритетного ручного керування та протиаварійного захисту із використанням гістерезису. Проведено верифікацію системи за методикою Software-in-the-Loop за допомогою вбудованого симулятора контролера.

Ключові слова: АВТОМАТИЗАЦІЯ, АГРС, EMERSON PACSYSTEMS, PAC MACHINE EDITION, ЦИФРОВИЙ ДВІЙНИК, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОТИАВАРІЙНИЙ ЗАХИСТ.

ABSTRACT

Master's Thesis: 69 pages, 3 chapters, 45 figures, 6 tables, 17 references.

The technological processes of an automated gas distribution station (AGRS) have been analyzed, and the requirements for the shut-off valve control system have been defined. The selection of the modern Emerson PACSystems RSTi-EP CPE205 controller and RSTi-EP series I/O modules for the modernization of automation systems has been justified.

The application software architecture has been developed in the PAC Machine Edition environment using a modular approach and IEC 61131-3 standards. A simulation model (a "digital twin") of the technological object has been created, replicating pressure change dynamics and actuator kinematics.

Algorithms for automatic regulation, priority manual control, and emergency shutdown (ESD) systems using hysteresis have been implemented. The system was verified using the Software-in-the-Loop (SiL) methodology with a built-in controller simulator.

Keywords: AUTOMATION, AGRS, EMERSON PACSYSTEMS, PAC MACHINE EDITION, DIGITAL TWIN, SIMULATION MODELING, EMERGENCY SHUTDOWN.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 КОМПЛЕКСНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ	11
1.1. Компоненти і принцип роботи ГРС	11
1.2 Функціональна схема DAER-2-3-1.....	18
1.3. Обґрунтування вибору апаратно-програмних засобів.....	21
1.4. Формалізація задач проектування.....	25
2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОНФІГУРАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	28
2.1 Конфігурування апаратних засобів та налаштування середовища PAC Machine Edition.....	28
2.2 Конфігурування підсистеми вводу-виводу	32
2.3 Розробка прикладного програмного забезпечення системи керування	35
2.4 Реалізація головного алгоритму керування	46
2.5 Організація глобального адресного простору	50
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ	53
3.1 Методика тестування системи	53
3.2 Підготовка та конфігурація середовища імітаційного моделювання	55
3.3 Перевірка функціонування системи в ручному режимі керування	58
3.4 Аналіз динамічних характеристик системи автоматичного регулювання.....	61
3.5 Випробування підсистеми протиаварійного захисту та блокувань	63
ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА	68

					КРМ.АКСм – 07.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Гундяк				Проектування апаратно- програмних засобів системи керування запірною арматурою на базі PLC "Emerson"	Літ	Аркуш	Аркушів
Перев.	Николайчук					Н	6	69
Н.контр.	Возний				ІФНТУНГ, АКСм-24-1			
Затв.	Заміховський							

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ І
ВИМІРІВ**

АГРС Автоматизована газорозподільна станція

ГТС Газотранспортна система

САК Система автоматичного керування

ПЛК Програмований логічний контролер

ПАЗ Протиаварійний захист

ESD Emergency Shutdown

ІоТ Industrial Internet of Things

UDFB User Defined Function Block

					КРМ.АКС _М - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

ВСТУП

Головні завдання української ГТС залишаються незмінними: гарантувати енергетичну безпеку держави та забезпечити безперебійне постачання газу людям і бізнесу [1]. Але світ змінюється. Інтеграція з європейською енергосистемою та жорсткіші вимоги до ефективності диктують нові правила [2]. Саме тому модернізація систем автоматичного керування (САК) виходить на перший план. Без сучасних технологій транспортування газу ми не зможемо бути конкурентними. Ключовою ланкою в цьому ланцюзі є автоматизовані газорозподільні станції (АГРС), які виконують функції редукування високого тиску магістральних газопроводів до рівня, необхідного кінцевим споживачам, а також забезпечують очищення, одоризацію та комерційний облік газу.

Сучасний етап розвитку автоматизації в газовій промисловості характеризується переходом до концепції, що передбачає повну автономність роботи станцій без постійної присутності обслуговуючого персоналу протягом тривалого часу. Згідно з галузевими вимогами, сучасна АГРС повинна забезпечувати безвідмовну роботу в автоматичному режимі не менше 14 діб [3]. Реалізація цієї вимоги неможлива без впровадження високонадійних інтелектуальних систем керування, здатних не лише виконувати базові алгоритми регулювання, а й здійснювати глибоку діагностику обладнання, прогнозувати відмови та автоматично локалізувати аварійні ситуації.

Основою техногенної безпеки газорозподільних станцій (АГРС) є надійність систем автоматичного керування запірною арматурою [4]. Саме ці механізми виконують критично важливу функцію: від штатного перемикачання потоків до миттєвої локалізації аварійних ділянок у разі витоків чи займання..

Дослідження спрямоване на підвищення безпеки газотранспортних мереж. Використання апаратно-програмних засобів Emerson PACSystems дозволяє гарантувати безвідмовну роботу стратегічних вузлів. Застосування контролерів RSTi-EP є технічно виправданим завдяки їхній продуктивності, захищеності та готовності до інтеграції в екосистему ІІоТ.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

Метою роботи є проектування апаратно-програмних засобів системи керування запірною арматурою АГРС на базі програмованого логічного контролера Emerson RSTi-EP CPE205, що дозволить забезпечити надійне дистанційне та автоматичне керування технологічним процесом, реалізацію алгоритмів протиаварійного захисту та підвищення ефективності роботи станції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз функціональності та технічних параметрів об'єкта контролю (АГРС), визначити технологічні регламенти роботи вузлів перемикачів, очищення та редукування;
- здійснити обґрунтування вибору апаратно-програмних засобів, провівши порівняльний аналіз технічних характеристик контролера Emerson CPE205 з аналогами (зокрема Siemens S7-300), та визначити склад модулів вводу-виводу;
- виконати формалізацію задач проектування, розробивши алгоритми логічного керування запірною арматурою та захисних блокувань.

Програмна реалізація системи автоматизації виконана засобами PAC Machine Edition. Процес розробки зосереджений на побудові ієрархічної структури функціональних блоків. Ці блоки забезпечують повний цикл обробки інформації: від зчитування та валідації первинних даних з датчиків до генерації командних сигналів для запірно-регулюючої арматури.

Предметом дослідження є апаратні та програмні засоби системи автоматичного керування запірною арматурою, побудовані на базі контролерів серії Emerson PACSystems.

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні алгоритмів керування вузлом редукування АГРС за рахунок застосування механізмів предиктивної діагностики електропневмоприводів кранів на базі аналізу часових характеристик перемикачів, реалізованих засобами контролера Emerson CPE205, що дозволяє підвищити надійність спрацювання системи аварійного захисту.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці робочого проекту системи керування, готового до впровадження на реальних об'єктах ГТС, а також у створенні навчально-методичного забезпечення для лабораторного стенду з вивчення сучасних засобів автоматизації Emerson.

Апробація результатів. Основні положення роботи перевірено шляхом тестування розробленого програмного забезпечення на навчальному стенді кафедри, оснащеному контролером Emerson CPE205, модулями вводу-виводу серії RSTi-EP та засобами імітації технологічного процесу.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

1 КОМПЛЕКСНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

1.1. Компоненти і принцип роботи ГРС

Автоматизована газорозподільна станція (АГРС), як об'єкт автоматизації, являє собою складну гетерогенну систему, що поєднує механічні, термодинамічні та електротехнічні процеси. Для коректного проектування системи керування запірною арматурою необхідно детально проаналізувати технологічну структуру об'єкта, режими його роботи та вимоги до параметрів газу. В якості базового об'єкта в даній роботі розглядається блочна АГРС, призначена для забезпечення газопостачання споживачів (населених пунктів, промислових підприємств) із заданим тиском, ступенем очищення та одоризації [5].

1.1.1 Технологічні параметри та режими функціонування

АГРС розрахована на роботу в безперервному режимі з періодичним технічним обслуговуванням. Ключовим аспектом, що визначає вимоги до надійності запірної арматури та системи керування, є вимога забезпечення безперебійної роботи за «безлюдною» технологією протягом 14 діб. Це означає, що система повинна самостійно обробляти більшість штатних та позаштатних ситуацій без втручання оператора (табл 1.1).

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

Таблиця 1.1 - Основні технічні параметри АГРС

Параметр	Значення	Примітка
Тиск газу на вході	2,5... 5,5 МПа	Визначається тиском у магістральному відводі
Тиск газу на виході	0,3 МПа	Стабілізується автоматично (для I нитки)
Продуктивність (номінальна)	10 000 м ³ /год	Через одну нитку редукування
Температура газу на виході	-1°C... +1°C	Підтримується вузлом підігріву
Режим роботи	Безперервний	Автономність 14 діб
Категорія надійності газопостачання	I категорія	Перерва в газопостачанні неприпустима

Технологічний процес на АГРС реалізується через послідовне проходження газу крізь ряд функціональних вузлів. Кожен з цих вузлів оснащений запірною арматурою, яка виконує функції керування потоками, відсікання аварійних ділянок та перемикання на резервні лінії. Розглянемо детально компоненти та принцип роботи кожного вузла.

Вузол перемикаць (Вузол входу/виходу) є вхідними та вихідними воротами станції. Його основне призначення - підключення станції до магістрального газопроводу-відводу та до мереж споживача, а також забезпечення можливості повної ізоляції станції або переведення її роботи на обвідну лінію (байпас) у разі аварії чи ремонту [6].

Склад обладнання:

Вхідний кран (Кран №1) забезпечує подачу газу високого тиску на станцію. Оснащується пневмогідравлічним приводом (ПГП) або електроприводом з функцією автоматичного закриття при спрацюванні системи аварійного захисту (ESD).

Вихідний кран (Кран №2) відсікає станцію від споживача.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

Крани байпасної лінії дозволяють подавати газ споживачу в обхід технологічного обладнання станції. Регулювання тиску на байпасі зазвичай здійснюється вручну, що є аварійним режимом роботи.

Свічні крани виконують функцію декомпресії технологічних ділянок газопроводу. Вони забезпечують скидання газу в атмосферу, що є необхідною умовою для безпечного проведення ремонтних робіт або в разі екстреної зупинки станції при аварійних ситуаціях.

Принцип роботи:

За нормальних умов експлуатації конфігурація запірної арматури передбачає відкритий стан вхідного та вихідного кранів, тоді як байпасна лінія та свічні крани залишаються перекритими. Транспортування газу починається з вхідного колектора, він має ізолюючою вставкою для захисту від електрохімічної корозії та впливу блукаючих струмів. Потік спрямовується до вузла очищення, функціонування якого контролюється системою безпечних програмних блокувань. Алгоритм керування реалізує сувору послідовність дій: ініціалізація вхідного крана заблокована до моменту повного закриття свічних ліній та стабілізації тиску в межах регламентних уставок.

Верхній рівень - це рівень глобального керування та взаємодії з людиною. До нього входить: сервер SCADA для збору даних, АРМ диспетчерів та інженерних служб. Основним функціоналом є: візуалізація техпроцесу, ведення архівів, дистанційне керування та передача даних через зовнішні мережі.

Середній рівень - це «Мозок» системи, представлений шафою керування. До нього входить: програмований логічний контролер (ПЛК), модулі вводу-виводу (DI/DO/AI), панель оператора (НМІ) та блок безперебійного живлення з АКБ. Основним функціоналом є: виконання алгоритмів керування засувками, обробка сигналів від датчиків та зв'язок із верхнім рівнем (рис 1.1).

Нижній рівень - це рівень безпосереднього контакту з технологічним об'єктом (ГРС). До нього входить: прилади вимірювання (тиск, температура) та виконавчі органи (електроприводи кранів/засувки). Основним функціоналом є: вимірювання фізичних параметрів та механічне виконання команд контролера.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

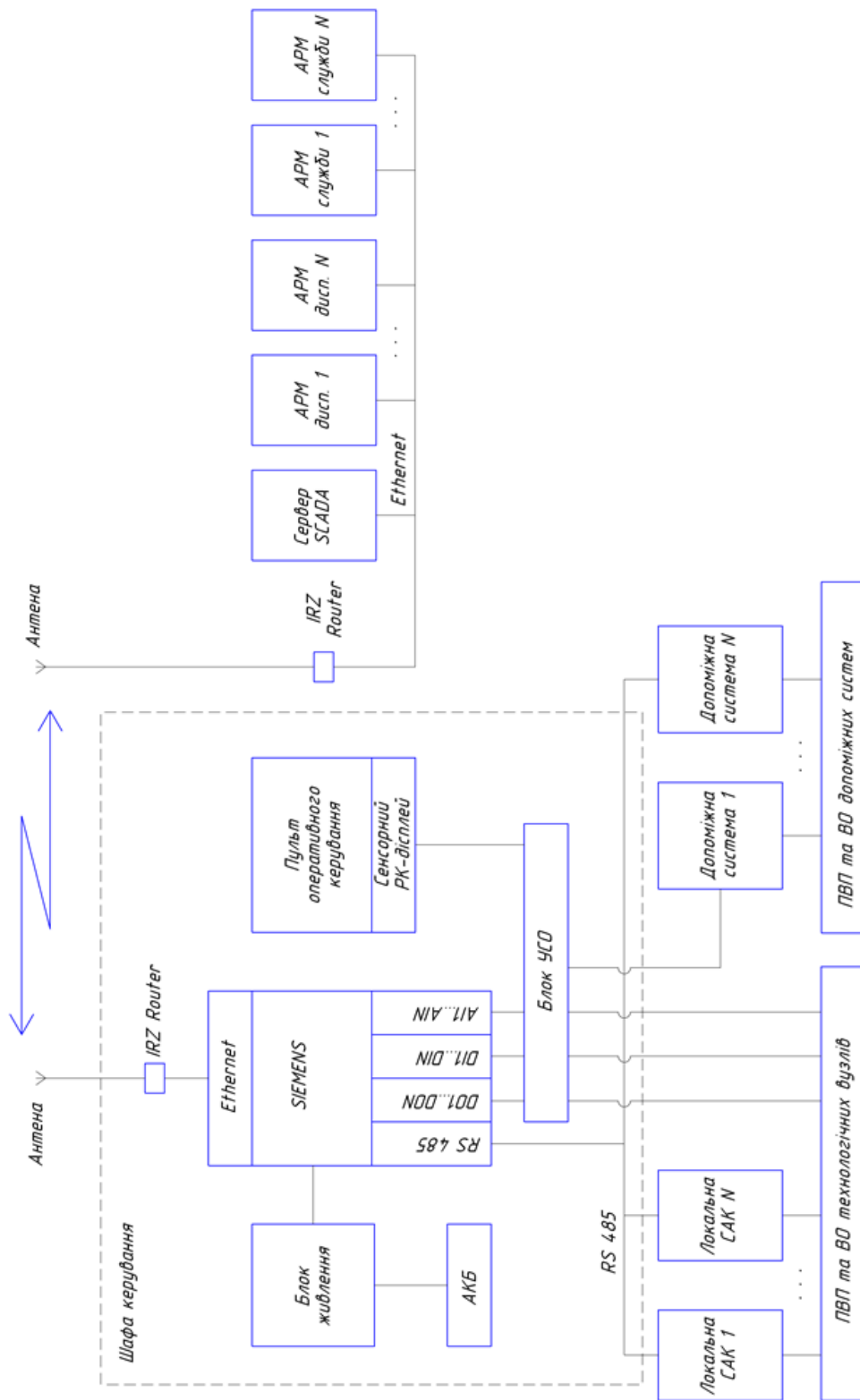


Рисунок 1.1 - Структурна схема АГРС

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Вузол очищення газу

У процесі транспортування магістральними трубопроводами природний газ насичується сторонніми домішками: твердими частинками (пісок, продукти корозії) та рідинними фракціями (вода, конденсат, компресорне мастило). Задля гарантування довговічності обладнання ГРС - зокрема регуляторів тиску та комерційних вузлів обліку - технологічний регламент передбачає обов'язкову стадію попередньої підготовки та очищення вхідного потоку газу.

Склад обладнання:

- фільтри-сепаратори або пиловловлювачі (робочий та резервний);
- ємності для збору конденсату;
- запірна арматура на вході та виході кожного фільтра для можливості їх перемикання та обслуговування;
- дренажні клапани для автоматичного або ручного скидання накопиченої рідини.

Принцип роботи:

Газ проходить через фільтруючі елементи, де відбувається відділення твердих часток та коагуляція рідини. Система автоматики контролює перепад тиску на фільтрах. Зростання перепаду вище встановленої норми свідчить про забруднення фільтра і необхідність переходу на резервну лінію очищення. Запірна арматура в цьому вузлі відіграє роль маршрутизатора потоку: система повинна забезпечити безударний перехід (відкриття резервного фільтра перед закриттям забрудненого) для запобігання перериванню газопостачання.

Вузол запобігання гідратуутворень (Вузол підігріву)

Процес редукування газу (зниження тиску) супроводжується значним падінням температури внаслідок ефекту Джоуля-Томсона. Для природного газу цей коефіцієнт становить приблизно $0,5^{\circ}\text{C}$ на кожні $0,1$ МПа перепаду тиску. При зниженні тиску з $5,5$ МПа до $0,3$ МПа (перепад $5,2$ МПа) температура може впасти на $52 \times 0,5 = 26^{\circ}\text{C}$. Якщо вхідна температура газу низька (наприклад, взимку), це може призвести до обмерзання зовнішньої поверхні трубопроводів, утворення кристалогідратів всередині регуляторів та порушення їх роботи.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

Склад обладнання:

- теплообмінники (підігрівачі газу) прямої або непрямої дії;
- система підготовки теплоносія (котли, пальники);
- регулюючі клапани подачі теплоносія або паливного газу;
- запірні арматури обв'язки підігрівачів.

Принцип роботи:

Вузол автоматично підтримує температуру газу на виході АГРС у заданому діапазоні (-1°C ... $+1^{\circ}\text{C}$) шляхом регулювання кількості тепла, що передається газу. Запірна арматура тут виконує функцію безпеки (відсікання паливного газу до пальників при згасанні полум'я або загазованості) та технологічного перемикачання між основним та резервним підігрівачем.

Вузол редукування тиску (Вузол регулювання)

Це основний технологічний вузол АГРС, який забезпечує зниження тиску газу до необхідного рівня і підтримку його стабільності незалежно від змін витрати та вхідного тиску. Надійність цього вузла забезпечується резервуванням: схема передбачає дві лінії редукування (нитку №1 і нитку №2) зі 100% пропускною здатністю кожна.

Склад обладнання однієї лінії:

Вхідний кран з пневмоприводом служить для автоматичного введення лінії в роботу.

Запобіжний запірний клапан (ЗЗК) є захисним органом прямої дії, що функціонує в автономному режимі. Його основне призначення - миттєве припинення подачі газу в разі критичного відхилення вихідного тиску від заданих уставок (при перевищенні максимального або падінні нижче мінімально допустимого рівня).

Регулятор-монітор це додатковий регулятор, встановлений послідовно з основним. У нормальному режимі він повністю відкритий. Його завдання - перебрати на себе функції регулювання у випадку відмови основного регулятора (наприклад, при його заклинюванні у відкритому положенні). Це активний елемент захисту.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

Регулятор тиску (робочий): основний пристрій, що дроселює газ.

Вихідний кран: ручний або приводний кран для відключення лінії.

Принцип роботи та алгоритми захисту:

Схема редукування АГРС реалізує багаторівневу систему захисту від перевищення тиску:

- рівень 1 (Робочий): активний регулятор підтримує тиск $P_{вих}$;
- рівень 2 (Монітор): при відмові активного регулятора (тиск зростає), в роботу вступає монітор, налаштований на дещо вищий тиск (наприклад, $1.05 \cdot P_{вих}$);
- рівень 3 (Введення резерву): якщо регулювання на робочій лінії стає неможливим (вихід тиску за межі допустимих меж або відмова контрольного регулятора), система керування ініціює алгоритм аварійного перемикання. Відбувається примусове закриття вхідної арматури несправної нитки одночасно з цим відкривається вхідний кран резервної лінії редукування;
- рівень 4 (Аварійне відсікання): фінальний бар'єр захисту, що базується на роботі запобіжного запірнього клапана (ЗЗК). При досягненні аварійної верхньої межі тиску (P_{max}) спрацьовує механічний розчіплювач клапана, що забезпечує миттєве та герметичне перекриття потоку газу. Цей процес є енергонезалежним та виконується автономно від електронних систем керування;
- рівень 5 (Скидний клапан): як останній рубіж захисту, на вихідному колекторі встановлюються запобіжні скидні клапани (ЗСК), які стравлюють надлишок газу в атмосферу.

Вузол одоризації та вимірювання

Після етапів очищення та редукування газовий потік спрямовується до вузла комерційного обліку, де за допомогою турбінних або ультразвукових лічильників фіксується точний обсяг споживання. Фінальним етапом підготовки є одоризація - дозоване введення етилмеркаптану для забезпечення специфічного запаху газу. Система запірної арматури цього вузла дозволяє

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

автоматизувати процес подачі одоранту, а також виконувати перемикання ліній для проведення метрологічної повірки обладнання без зупинки процесу.

1.2 Функціональна схема DAER-2-3-1

Вузол управління DAER-2-3-1 (рис.1.2) є ключовим елементом системи, що забезпечує дистанційне та місцеве керування пневматичними приводами запірної арматури [7].

1.2.1. Опис конструкції та призначення елементів

Функціональна схема базується на використанні блоку електромагнітних пілотів та клапанної системи, розміщених у вибухонепроникній оболонці.

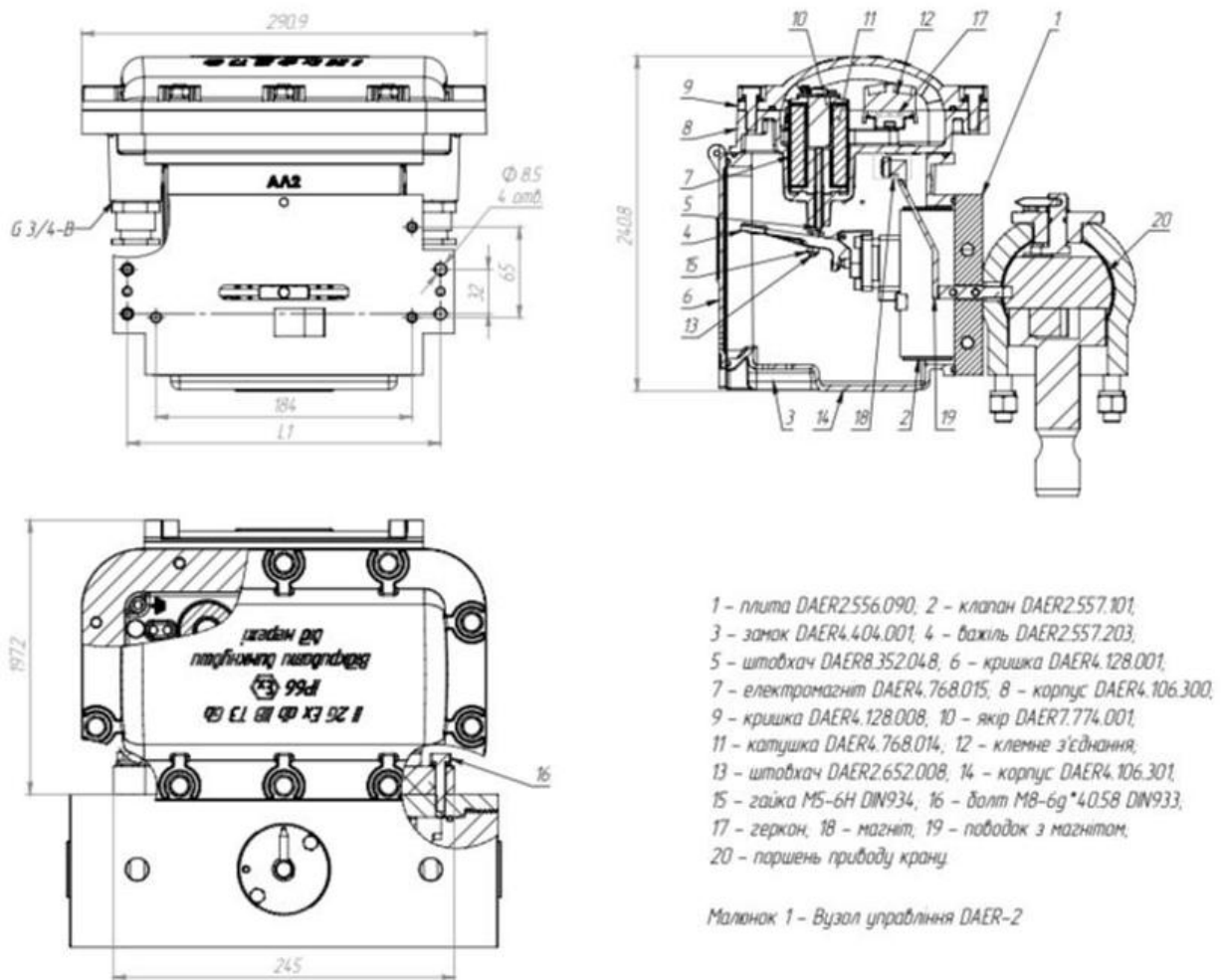


Рисунок 1.2 - Загальний вигляд та габаритні розміри вузла керування DAER-2

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

Основними функціональними елементами є:

- клапанна система: здійснює перемикання потоків стисненого повітря або газу під тиском;
- сигналізація положення: складається з герконів та магнітного елемента, що рухається разом з поршнем приводу;
- електромагнітні котушки: ініціюють процес відкриття або закриття запірною органу при отриманні електричного сигналу.

1.2.2. Принципова схема та алгоритм роботи

Робота системи здійснюється за логікою роздільного керування каналами «Відкрито» та «Закрито» (рис.1.3)

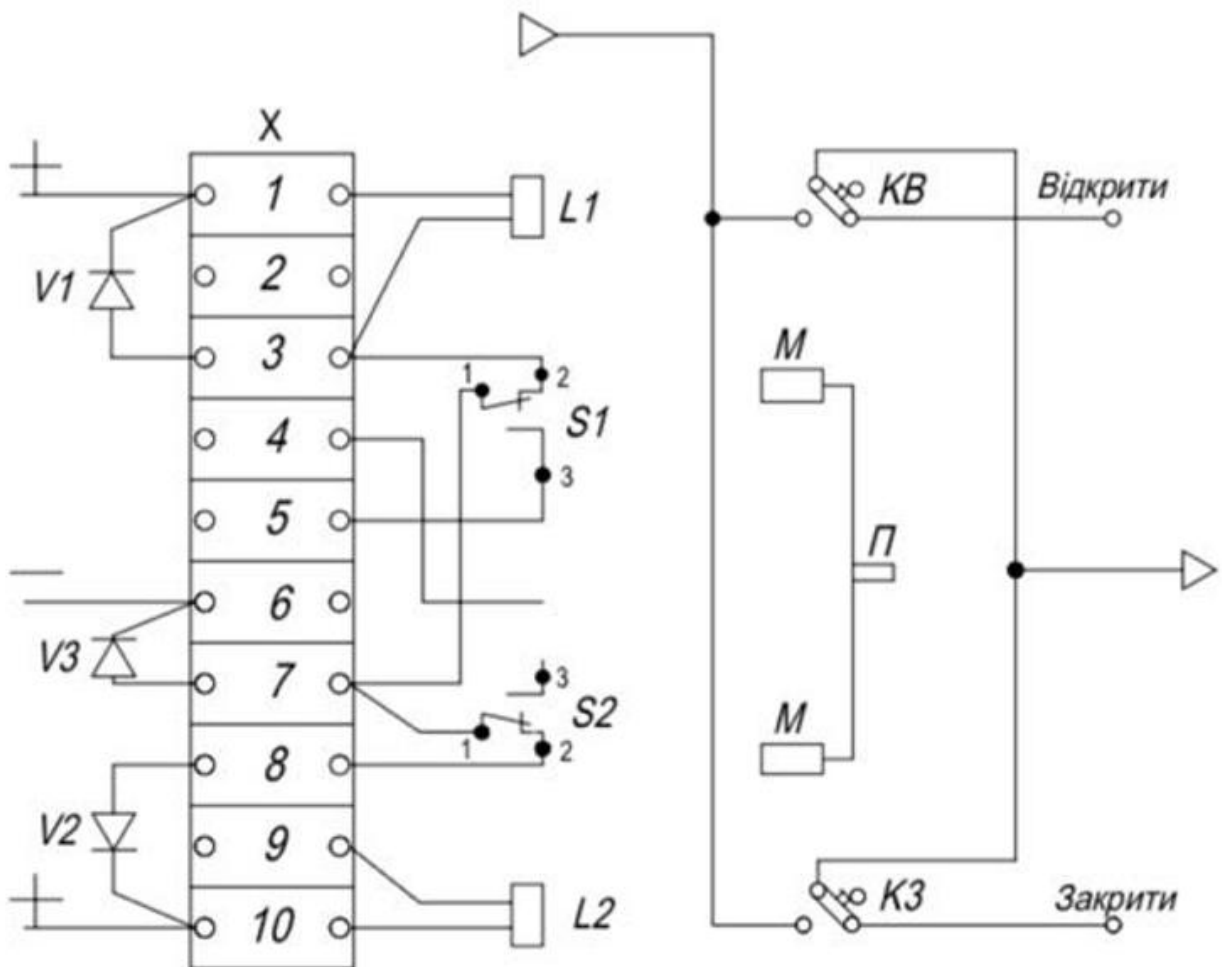


Рисунок 1.3 - Схема принципова електрична та підключення герконів

Принцип роботи:

- команда «Відкрити»: напруга подається на електромагніт L1 (контакти 1-3). Це відкриває шлях газу до порожнини «Відкриття» приводу;
- команда «Закрити»: напруга подається на електромагніт L2 (контакти 8-10), що перемикає клапан у положення «Закрито»;
- зворотний зв'язок: при досягненні крайніх положень спрацьовують геркони S1 (Відкрито) або S2 (Закрито), замикаючи відповідні сухі контакти для передачі сигналу на контролер АСК ТП.

1.2.3. Монтажна схема та підключення

Для забезпечення вибухозахисту (маркування Ex db IIB T3 Gb) особлива увага приділяється герметизації кабельних ввідів (рис.1.4) [8].

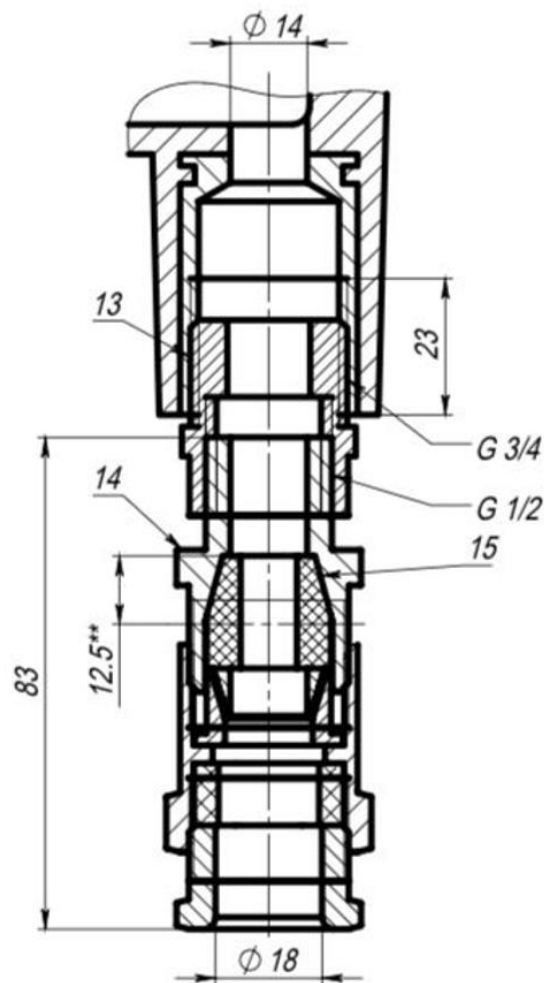


Рисунок 1.4 - Конструктивна схема вибухозахищеного кабельного вводу

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

Монтажна схема передбачає використання броньованого або екранованого кабелю, що фіксується через штуцер та ущільнювальну втулку, що запобігає передачі вибуху з внутрішнього об'єму корпусу у зовнішнє середовище.

1.3. Обґрунтування вибору апаратно-програмних засобів

Ефективність системи автоматизації визначається надійністю та функціональністю обраної апаратної платформи. У даній роботі пропонується використання сучасного контролера Emerson PACSystems RSTi-EP CPE205, який замінює традиційні рішення на базі Siemens S7-300, що широко використовувалися на об'єктах ГТС у попередні десятиліття.

1.3.1 Порівняльний аналіз контролерів

Історично склалося, що багато АГРС в Україні були автоматизовані на базі лінійки Siemens Simatic S7-300. Однак, ця серія розроблялася ще в 90-х роках і на сьогоднішній день має ряд обмежень, особливо в контексті сучасних вимог до кібербезпеки та ІоТ. Крім того, компанія Siemens оголосила про поступове зняття S7-300 з виробництва (End-of-Life phase), що створює ризики для довгострокової експлуатації [9].

Контролер Emerson CPE205 належить до нової генерації компактних PAC (Programmable Automation Controller), орієнтованих на промисловий інтернет речей [10]. Порівняльний аналіз ключових характеристик наведено в (табл. 1.2)

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 1.2 - Порівняння контролерів Siemens S7-315-2 PN/DP та Emerson RSTi-EP CPE205

Характеристика	Siemens S7-315-2 PN/DP (Legacy)	Emerson RSTi-EP CPE205 (Modern)	Перевага Emerson
Архітектура	Моноблочна / Модульна (S7-300 bus)	Компактна модульна (RSTi-EP backplane)	Менші габарити, економія місця в шафі
Пам'ять користувача	384 КБ (залежить від MMC карти)	0.5 МБ NVRAM (вбудована)	Більший об'єм вбудованої пам'яті, відсутність батарейок
Комунікації	MPI, PROFIBUS DP, PROFINET (обмежено)	2xEthernet (1Gbps), PROFINET, Modbus TCP, OPC UA	Вбудована підтримка гігабітного Ethernet та OPC UA без додаткових карт
Кібербезпека	Базовий захист паролем	Achilles Level 2 Certified, Secure Boot, TPM	Відповідність сучасним вимогам захисту критичної інфраструктури
Протоколи IoT	Потребує додаткових шлюзів	Вбудовані OPC UA Secure, MQTT (опціонально)	Готовність до хмарної інтеграції та SCADA нового покоління
Робоча температура	0...+60°C	-40...+70°C	Можливість роботи в неопалюваних боксах
Мова програмування	STEP 7 (LAD, STL, FBD)	PAC Machine Edition (LAD, ST, FBD, C)	Підтримка мови C для складних алгоритмів

Ключові переваги CPE205 для АГРС:

- кібербезпека: основною перевагою такого рішення є сертифікація за стандартом Achilles Level 2. Це гарантує стійкість контролера до DoS-атак та спроб перехоплення чи модифікації даних (атак типу MITM) [11]. Для АГРС як складника критичної енергосистеми впровадження таких засобів захисту є необхідним оскільки в застарілих поколіннях автоматики подібні механізми безпеки не були передбачені;
- комунікації: підтримка OPC UA Secure дозволяє будувати захищені канали зв'язку з диспетчерським центром без використання проміжних РС або конвертерів, що робить систему передачі даних досить надійною;
- кліматична стійкість: робочий діапазон температур від -40 до +70°C.

Обґрунтування вибору периферійних модулів (RSTi-EP I/O)

Інтерфейс взаємодії з місцевим обладнанням реалізовано на основі модулів вводу та виводу Emerson RSTi-EP. Ця серія має високу щільність каналів при невеликих габаритах, що дозволяє компактно розмістити систему в шафі керування. Важливою експлуатаційною перевагою є підтримка функції (Hot Swap), яка забезпечує можливість обслуговування системи без зупинки технологічного процесу [12].

Специфікація обраних модулів:

1. **EP-1218 (Дискретний ввід):** 8 каналів, 24В DC, 2-провідне підключення [13].
 - застосування: Підключення кінцевих вимикачів кранів, реле тиску, датчиків загазованості;
 - особливість: Швидкодія 0.3 мс, що важливо для фіксації швидких процесів.
2. **EP-2218 (Дискретний вивід):** 8 каналів, 24В DC, 0.5А на канал.
 - застосування: Керування соленоїдами пневмоприводів, світлозвуковою сигналізацією;

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

- особливість: Захист від перевантаження та короткого замикання. Струму 0.5А достатньо для керування більшістю стандартних промислових соленоїдів.

3. **EP-3124 (Аналоговий ввід):** 4 канали, (0-10В, 4-20 мА), 12 біт.

- застосування: Підключення трансмітерів тиску та температури.

Навчальний стенд як база для прототипування

Для апробації проектних рішень використовується лабораторний стенд на базі контролера EPXCPRE205, розроблений партнером Emerson - компанією Digital.

Склад стенду дозволяє змодельовати основні процеси АГРС:

- контролер EPXCPRE205 - центральний мозок системи;
- блок живлення Emerson SOLA SVL 10-24-100 - забезпечення стабільного живлення 24В, аналогічно до промислових умов;
- блок ручного управління БРУ-420 - імітує дії оператора або ручне завдання положення регулюючого клапана.

Використання цього стенду дозволяє відлагодити програмні блоки керування (INPUTS, OUTPUTS, PID) в реальному часі перед їх перенесенням на реальний об'єкт.

Програмне забезпечення PAC Machine Edition

Розробка програмного коду здійснюється в середовищі PAC Machine Edition (PME) 10.7. Це єдине інженерне середовище для конфігурування контролерів, панелей оператора та приводів Emerson.

Гнучкість розробки прикладного програмного забезпечення забезпечується підтримкою міжнародного стандарту IEC 61131-3. Для реалізації логіки керування арматурою та блокувань використано графічну мову LD (Ladder Diagram), тоді як для виконання прецизійних обчислень (корекція витрати газу) застосовано ST (Structured Text). Використання користувацьких функціональних блоків (UDFB) дозволило уніфікувати алгоритми для типових вузлів АГРС, забезпечивши масштабованість та високу якість коду [14, 15].

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

1.4. Формалізація задач проектування

Етап розробки прикладного ПЗ розпочинається з формалізації керуючих алгоритмів. На цій стадії технологічні регламенти перетворюються на систему математичних моделей, логічних виразів та діаграм станів. Така структуризація дозволяє трансформувати вербальні вимоги до функціонування АГРС у чітку алгоритмічну базу, адаптовану для подальшої реалізації в середовищі програмування ПЛК.

Математична модель керування запірною арматурою

Запірна арматура АГРС (крани) працює в дискретному режимі: Відкрито (1) / Закрито (0). Однак, з точки зору системи керування, кран є об'єктом з пам'яттю та часовими затримками.

Стан крана S_v можна описати вектором:

$$S_v = \{Z_{\text{open}}, Z_{\text{closed}}, T_{\text{move}}\}, \quad (1.1)$$

де $Z_{\text{open}}, Z_{\text{closed}}$ - сигнали кінцевих вимикачів (1 - активний, 0 - неактивний), T_{move} - час руху.

Діагностика стану крана базується на аналізі комбінації сигналів:

- відкрито: $Z_{\text{open}} = 1, Z_{\text{closed}} = 0$;
- закрито: $Z_{\text{open}} = 0, Z_{\text{closed}} = 1$;
- в русі: $Z_{\text{open}} = 0, Z_{\text{closed}} = 0$;
- помилка: $Z_{\text{open}} = 1, Z_{\text{closed}} = 1$ (неможливий стан, свідчить про несправність датчиків або проводки).

Алгоритм керування з контролем часу:

- нехай Cmd_{open} - команда на відкриття (вихід PLC);
- таймер T_{watchdog} запускається в момент зміни команди.

Умова аварії приводу $\text{Fault}_{\text{drive}}$:

$$\text{Fault}_{\text{drive}} = (\text{Cmd}_{\text{open}} = 1) (Z_{\text{open}} = 0) (\text{Timer} > T_{\text{max}}). \quad (1.2)$$

					КРМ.АКСМ - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

Для оцінки технічного стану виконавчих механізмів в алгоритм керування введено параметр $T_{\{max\}}$, що відповідає паспортному часу повного ходу затвора (наприклад, 10...15 с для пневмоприводів типорозміру Ду300). Реалізація такої часової перевірки дозволяє системі автоматично ідентифікувати механічне заклинювання арматури або критичне падіння тиску в живильній пневмомережі, що є необхідною умовою для забезпечення превентивної діагностики об'єкта

Формалізація алгоритму аварійного захисту (ESD)

Задача системи - перевести станцію в безпечний стан при виникненні загрози.

Вектор аварійних сигналів:

$$A = \{P_{\{high\}}, Fire, Gas, Power_Fail\}. \quad (1.3)$$

Функція аварійної зупинки $F_{\{ESD\}}$:

$$F_{\{ESD\}} = P_{\{high\}}, Fire, Gas, Power_Fail. \quad (1.4)$$

Якщо $F_{\{ESD\}} = 1$, виконується послідовність дій:

- зняття напруги з соленоїдів вхідного ($V_{\{in\}}$) та вихідного ($V_{\{out\}}$) кранів. Оскільки використовуються нормально-закриті (NC), це призводить до закриття кранів під дією пружини або енергії ресивера;

$$Cmd(V_{\{in\}}) \leftarrow 0; Cmd(V_{\{out\}}) \leftarrow 0.$$

- відкриття свічного крана ($V_{\{vent\}}$) для стравлювання газу (залежно від технологічної схеми, може бути із затримкою).

$$Cmd(V_{\{vent\}}) \leftarrow 1.$$

Алгоритм перемикання ліній редукування

Для забезпечення безперебійності подачі газу система повинна автоматично вводити резервну лінію при несправності робочої.

Умова перемикання:

$$Trigger_{\{switch\}} = (P_{\{out\}} < P_{\{min\}}) \vee (Fault_{\{line1\}}). \quad (1.5)$$

Логіка перемикання:

- перевірка готовності резервної лінії (тиск на вході є, кран справний);
- команда на відкриття вхідного крана резервної лінії $V_{\{res_in\}}$;

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

- очікування підтвердження відкриття ($Z_{\{open\}}(V_{\{res_in\}}) = 1$);
- команда на закриття вхідного крана основної лінії $V_{\{main_in\}}$.

Формалізація цих алгоритмів у вигляді булевих рівнянь та граф-схем автоматів є основою для подальшого написання коду на мові LD у середовищі PAC Machine Edition.

Висновок до розділу 1

У першому розділі виконано системний аналіз АГРС як об'єкта автоматизації. Визначено, що пріоритетними критеріями ефективності системи є живучість, висока швидкість реакції на відхилення від технологічного регламенту та надійність автономного функціонування. Шляхом декомпозиції технологічного процесу на окремі вузли (очищення, редукування, одоризації) ідентифіковано критичні параметри контролю та логіку блокувань.

Проаналізовано блок керування DAER-2-3-1 як інтерфейс між електричною системою контролера та пневматичними виконавчими механізмами. Визначено, що інтеграція електромагнітних пілотів та герконових датчиків положення в єдиному вибухонепроникному корпусі (стандарт Ex db ІІВ ТЗ Gb) значно спрощує монтажну схему та підвищує експлуатаційну безпеку системи у вибухонебезпечних зонах.

Обґрунтовано доцільність побудови системи керування на базі контролера Emerson RSTi-EP CPE205. Доведено, що порівняно з поширеними аналогами (зокрема Siemens S7-300), обране рішення забезпечує вищий рівень захищеності (сертифікат Achilles Level 2) та готовність до цифрової трансформації через протоколи OPC UA. Формалізація алгоритмів у вигляді математичних та логічних моделей дозволила сформулювати базис для подальшої розробки ПЗ, верифікація якого запланована з використанням спеціалізованого навчального стенду.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОНФІГУРАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1 Конфігурування апаратних засобів та налаштування середовища PAC Machine Edition

Розробка програмного забезпечення для системи керування запірною арматурою виконується в середовищі PAC Machine Edition (PME). Процес починається з ініціалізації структури проекту, що визначає базову логіку взаємодії компонентів системи.

Для забезпечення сумісності з апаратною частиною використовується системний шаблон, який автоматично підвантажує бібліотеки та налаштування, специфічні для серії контролерів PACSystems RSTi-EP. Це дозволяє уніфікувати процес розробки та уникнути помилок на етапі адресації пам'яті. Вибір шаблону для створення проекту наведено на рис. 2.1.

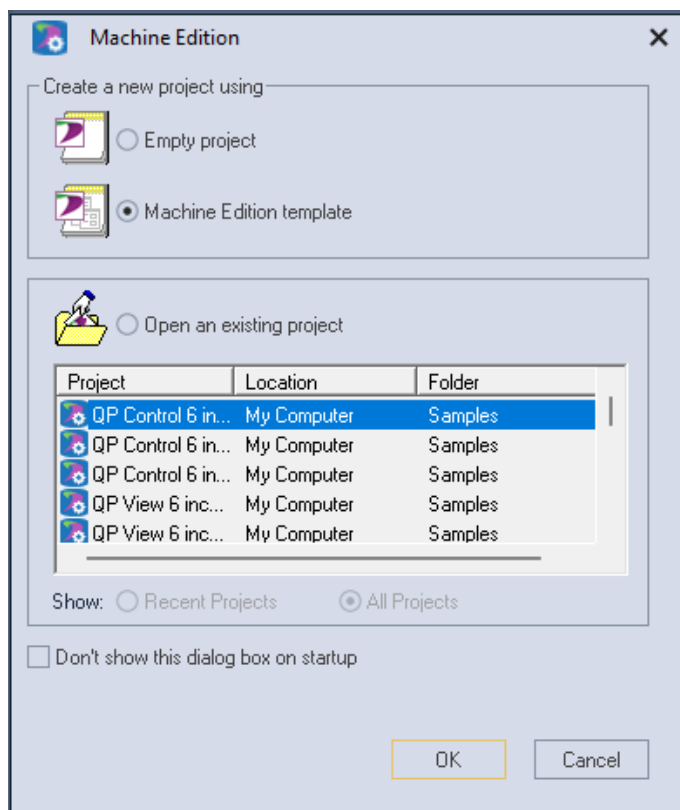


Рисунок 2.1 - Вибір шаблону для створення проекту

На етапі створення проекту задається його ідентифікатор, який згідно з прийнятою в проектній документації кодифікацією відображає шифр об'єкта автоматизації. Після генерації проекту середовище формує ієрархічне дерево, що включає розділи апаратної конфігурації, логічних блоків та змінних. Приклад створення та іменування проекту зображено на рис. 2.2.

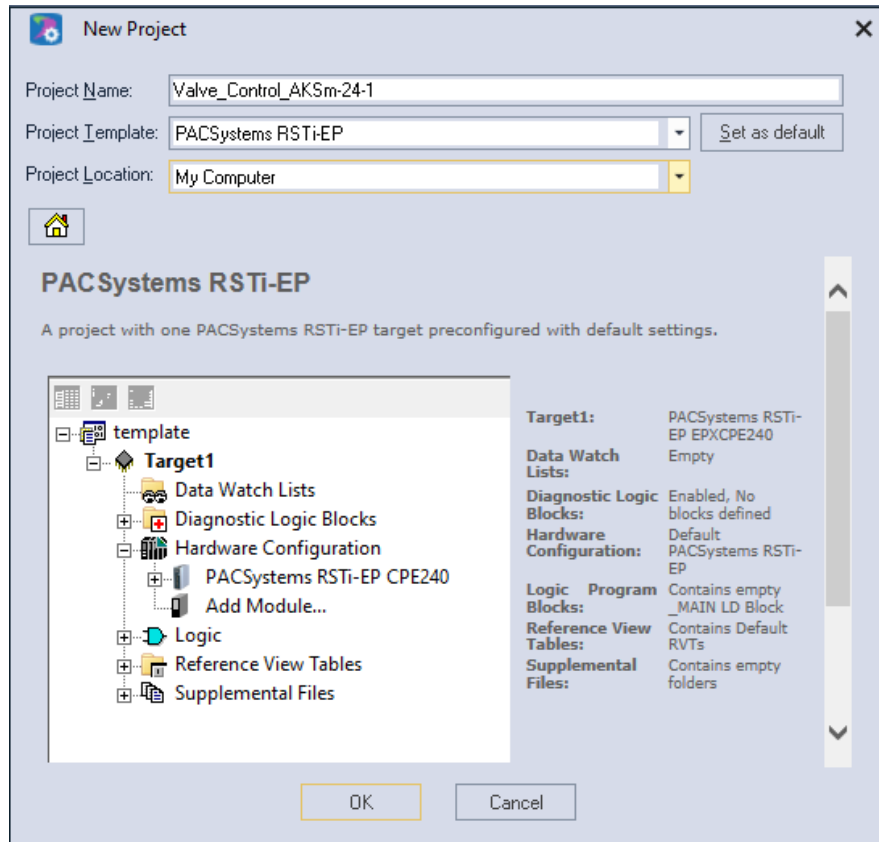


Рисунок 2.2 - Створення проекту за шаблоном

Етап конфігурування апаратних засобів є основою для створення зв'язку між програмним кодом та об'єктом. У вікні навігатора проекту (рис. 2.3) формується ієрархічна структура системи, що дозволяє налаштувати індивідуальні параметри кожного модуля та діагностичні функції вузлів

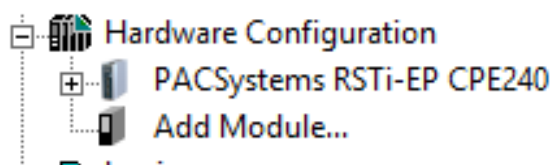


Рисунок 2.3 - Розділ Hardware Configuration у вікні Navigator

Оскільки базовий шаблон може містити стандартну конфігурацію, необхідно привести склад модулів у відповідність до розробленої електричної схеми. Зміна типу процесорного модуля або модулів розширення виконується через процедуру заміни компонентів у стійці, що проілюстровано на рис. 2.4.

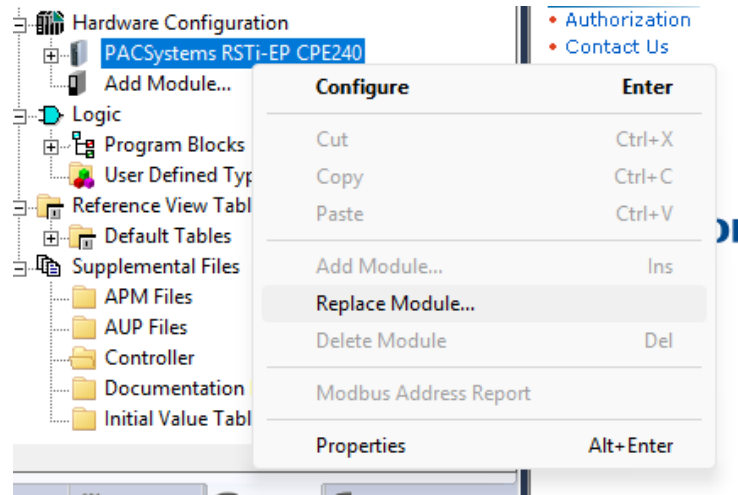


Рисунок 2.4 - Зміна конфігурації модулів

Для даної системи керування обрано процесорний модуль Emerson RSTi-EP EPXCPE205, який забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки алгоритмів керування кранами. Вибір конкретної моделі здійснюється з інтегрованого каталогу обладнання (рис. 2.5).

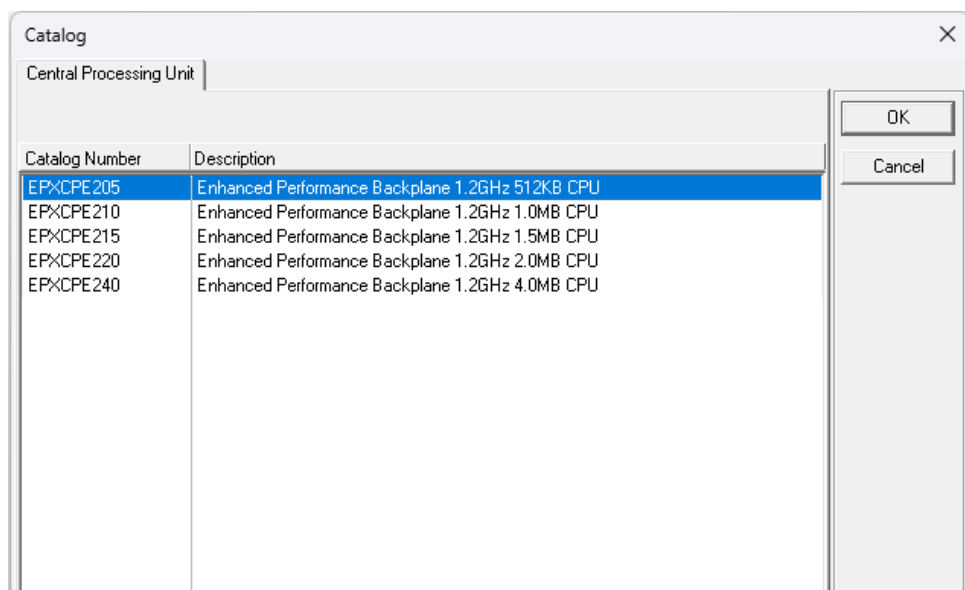


Рисунок 2.5 - Процес вибору контролера

Після визначення типу CPU виконується налаштування його внутрішніх параметрів. Це критичний етап, що впливає на режим запуску контролера, розподіл пам'яті та безпеку доступу. Процес запуску вікна конфігурації наведено на рис. 2.6.

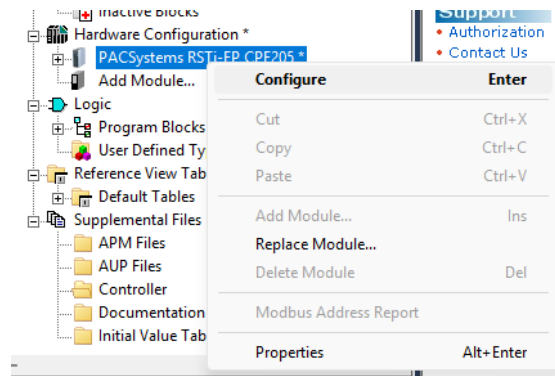


Рисунок 2.6 - Перехід до вікна конфігурації

У налаштуваннях параметрів контролера для етапу налагодження деактивуються обмеження доступу (парольний захист) та вимикаються невикористовувані комунікаційні інтерфейси (наприклад, LAN 2), що дозволяє оптимізувати цикл сканування контролера. Відповідні налаштування зображено на рис. 2.7.

Parameters	
Passwords	Disabled
Legacy Client/Server Protocol Memory Access	Authenticated
Stop-Mode I/O Scanning	Disabled
Watchdog Timer (ms)	200
Logic/Configuration Power-up Source	Always Flash
Data Power-up Source	Always RAM
Run/Stop Button	Enabled
Power-up Mode	Last
Modbus Address Space Mapping Type	Disabled
MicroSD	Disabled
Universal Serial Bus	Enabled
LAN 1 Mode	Ethernet
LAN 2 Mode	Disabled
Network Time Sync	None
Enable UTC Offset	Disabled
Day Light Savings Time(DST)	Disabled
--- Expansion Bus ---	
Outputs Default State	All Outputs Off
Diagnostic Alarm Logging	Disabled
Expansion Bus Status	%I00001
Length	0
I/O Scan Set	1

Рисунок 2.7 - Відключення паролю та Profinet

Інтеграція системи керування ГРС в загальну інформаційну мережу підприємства здійснюється через інтерфейс Ethernet (LAN 1). Налаштування мережевих параметрів є обов'язковим для забезпечення зв'язку з SCADA-системою та інженерною станцією. Процес переходу до налаштувань порту показано на рис. 2.8.

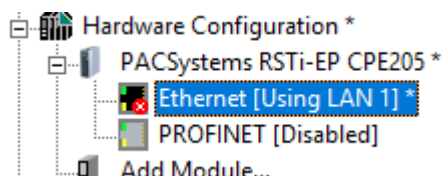


Рисунок 2.8 - Перехід у вікно Ethernet

Контролеру присвоюється статична IP-адреса (наприклад, 192.168.0.100) та маска підмережі (255.255.255.0), що дозволяє ідентифікувати пристрій в локальній технологічній мережі та забезпечити маршрутизацію пакетів даних телеметрії. Встановлення параметрів IP-адресації наведено на рис. 2.9.

Parameters	
IP Address	192.168.0.100
Subnet Mask	255.255.255.0
Gateway IP Address	0.0.0.0
IP Conflict Detection	Enabled

Рисунок 2.9 - Вікно параметрування мережі

2.2 Конфігурування підсистеми вводу-виводу

Для реалізації функцій керування запірною арматурою та збору даних з датчиків технологічного процесу формується набір модулів вводу-виводу. Підбір модулів здійснюється з каталогу відповідно до типів сигналів, що використовуються на ГРС (дискретні 24В DC, аналогові 4-20 мА), як показано на рис. 2.10.

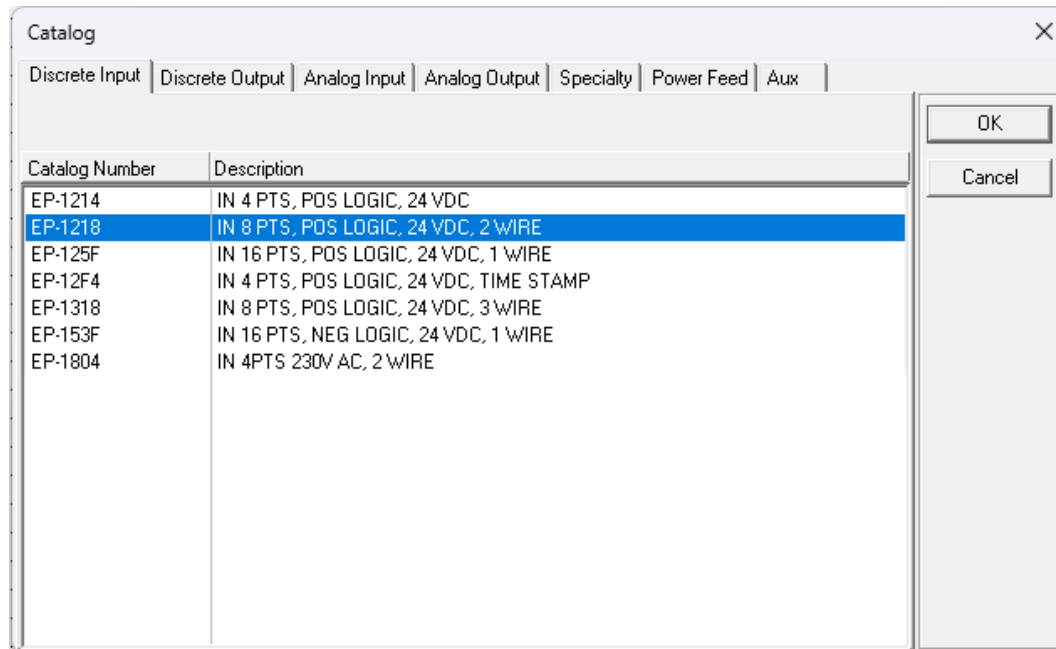


Рисунок 2.10 - Вікно вибору модулів

Сформована апаратна конфігурація у дереві проекту повинна повністю відповідати фізичному розташуванню модулів на DIN-рейці в шафі автоматики. Це забезпечує коректну адресацію каналів при зверненні до них з програми користувача. Загальний вигляд сконфігурованої стійки наведено на рис. 2.11.

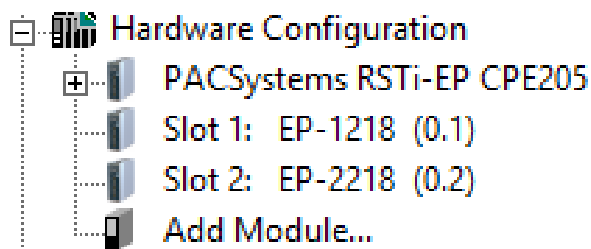


Рисунок 2.11 - Hardware-конфігурація в дереві проекту

2.2.1 Параметрування дискретних сигналів (Керування арматурою)

Для модулів дискретного вводу (EP-1218), які використовуються для отримання сигналів про стан кранів («Відкрито»/«Закрито») та кнопок місцевого керування, необхідно активувати режим роботи зі змінними (Variable Mode). Це дозволяє присвоювати символні імена фізичним адресам каналів (рис. 2.12).

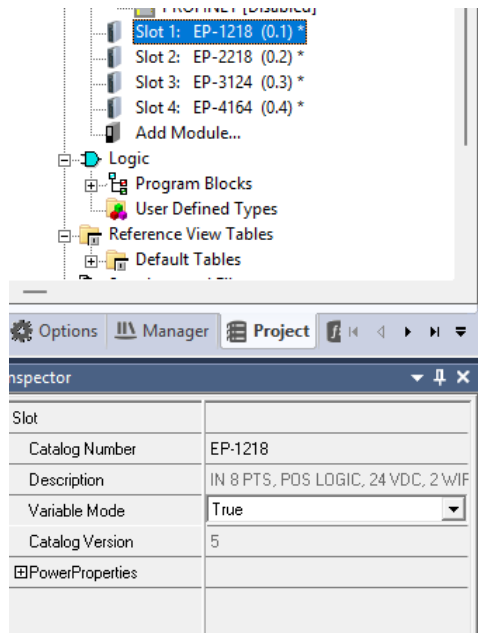


Рисунок 2.12 - Параметрування модуля EP-1218

Наступним кроком є створення та прив'язка змінних. Для дискретних входів створюються змінні типу BOOL. В контексті ГРС ці змінні відповідають кінцевим вимикачам запірної арматури. Прив'язка змінних у вікні Terminals зображена на рис. 2.13.

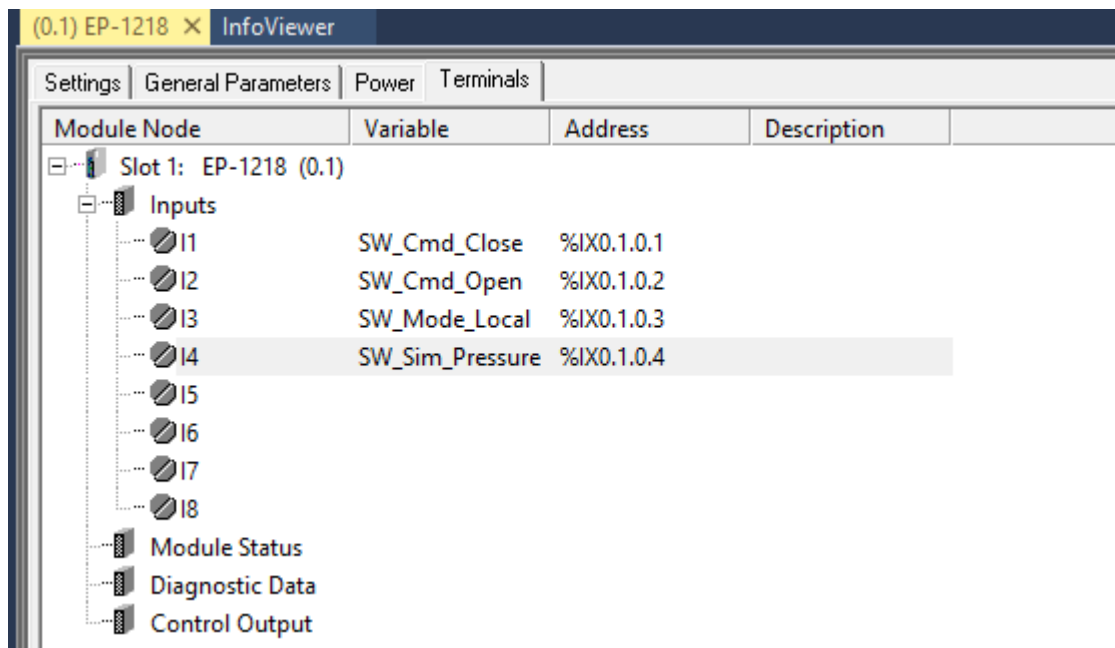


Рисунок 2.13 - Змінні створено у Variables та призначені у вікні Terminals для модуля Discrete Input EP-1218

Для керування виконавчими механізмами (соленоїдами пневмоприводів або котушками пускачів) використовуються модулі дискретного виводу (EP-2218). Змінні типу BOOL прив'язуються до відповідних вихідних каналів, що дозволяє програмно формувати команди керування. Приклад адресації вихідних сигналів наведено на рис. 2.14.

Module Node	Variable	Address	Description
Slot 2: EP-2218 (0.2)			
Outputs			
Q1	DAER_Cmd_Close	%QX0.2.0.1	
Q2	DAER_Cmd_Open	%QX0.2.0.2	
Q3	Lmp_Pos_Open	%QX0.2.0.3	
Q4	Lmp_Pos_Close	%QX0.2.0.4	
Q5	Lmp_Ind_Move	%QX0.2.0.5	
Q6	Lmp_Ind_Alarm	%QX0.2.0.6	
Q7			
Q8			
Module Status			
Diagnostic Data			
Control Output			

Рисунок 2.14 - Змінні створені у Variables та призначені у вікні Terminals для модуля Discrete Output EP-2218

2.3 Розробка прикладного програмного забезпечення системи керування

Реалізація алгоритмів керування та математичного моделювання виконувалася в інтегрованому середовищі розробки PAC Machine Edition (PME). Програмна архітектура проєкту базується на принципах модульності та стандарту ІЕС 61131-3, що передбачає розділення логіки на окремі організаційні одиниці (Program Organization Units - POU).

2.3.1 Створення та структурна організація програмних блоків

Початковим етапом розробки прикладної програми є формування структури логічних блоків у дереві проєкту (Project Navigator). Для реалізації поставленого технічного завдання було обрано стратегію розділення функціоналу на два рівні: рівень загальної логіки та рівень складних обчислень.

					KPM.AКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

У папці Program Blocks цільового контролера (Target) створено два програмні модулі:

- функціональний блок FB_Master_Control написаний мовою ST для виконання математичних обчислень та моделювання;
- головна програма _MAIN реалізується мовою LD для логічного керування та виклику функціональних блоків.

Процес створення нового блоку в середовищі PМЕ реалізується через контекстне меню дерева проєкту. Необхідно натиснути праву кнопку миші на папці Program Blocks та обрати команду Add Block, як зображено на рис. 2.15.

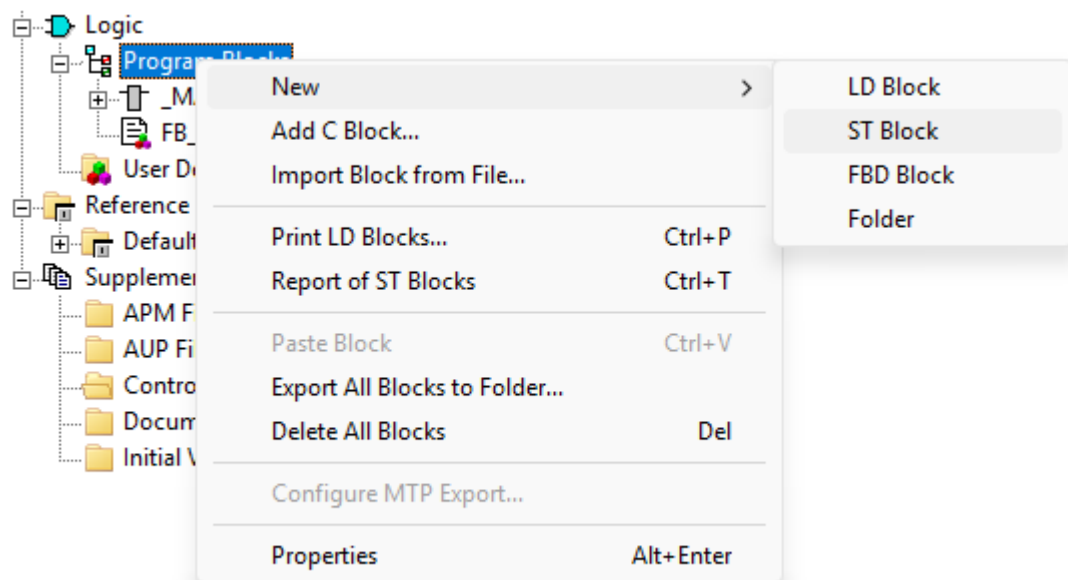


Рисунок 2.15 - Додавання нового програмного компонента через контекстне меню

Наступним кроком є конфігурація властивостей створеного блоку FB_Master_Control. За замовчуванням новий модуль створюється з типом «Block». Для перетворення його на повноцінний функціональний блок (UDFB), у вікні властивостей (Inspector) параметр Block Type необхідно змінити на Function Block, а параметр Language встановити у значення Structured Text (рис. 2.16). Ця дія активує виділення власної області пам'яті для екземпляра блоку.

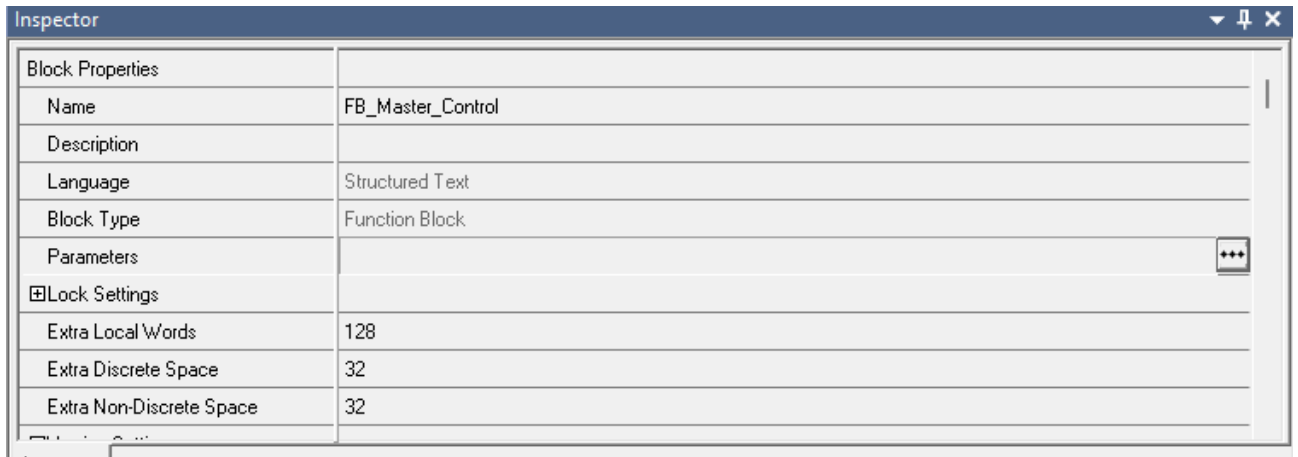


Рисунок 2.16 - Зміна типу програмного блоку на Function Block у вікні властивостей

Після завершення процедури створення та налаштування, структура проекту набуває ієрархічного вигляду, де чітко розмежовано головну програму та допоміжні функціональні блоки. Коректна структура дерева проекту, що відображає готовність модулів до програмування, наведена на рис. 2.17.

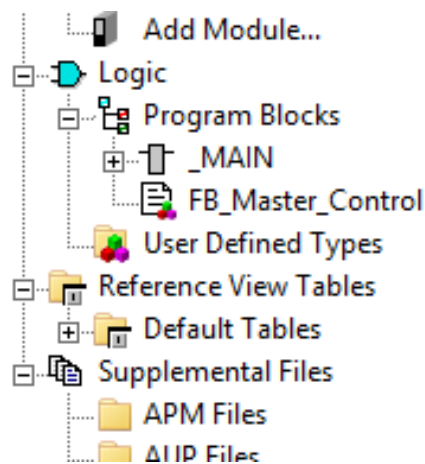


Рисунок 2.17 - Структура програмних блоків у дереві проекту PAC Machine Edition

2.3.2 Опис алгоритму роботи функціонального блоку FB_Master_Control

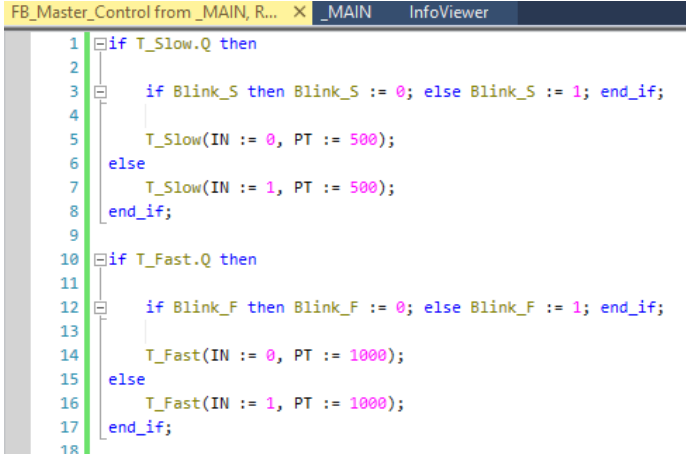
Розроблено програмний модуль який реалізує повний цикл керування виконавчим механізмом, включаючи генерацію службових сигналів, математичне моделювання фізики процесу та логіку прийняття рішень.

Алгоритм виконується циклічно і структурно поділяється на п'ять функціональних секцій.

1. Підсистема генерації тактових імпульсів

Для забезпечення світлової сигналізації станів системи реалізовано два незалежні генератори частоти на базі таймерів затримки включення (TON).

Для візуальної сигналізації в системі реалізовано два незалежних генератори імпульсів (меандрів). Повільний контур ($T_{\{Slow\}} = 500$ мс) формує змінну $Blink_S$ з частотою 1Гц, що використовується для світлової індикації аварійних станів. Швидкий контур ($T_{\{Fast\}} = 250$ мс) генерує сигнал $Blink_F$ з вищою частотою для відображення динамічних процесів, зокрема руху запірної арматури (рис. 2.18). Алгоритм базується на циклічному скиданні таймерів: після завершення витримки часу вхід таймера обнуляється ($IN := 0$), що забезпечує автоматичну генерацію безперервної послідовності імпульсів.



```
1  if T_Slow.Q then
2
3  if Blink_S then Blink_S := 0; else Blink_S := 1; end_if;
4
5  T_Slow(IN := 0, PT := 500);
6  else
7  T_Slow(IN := 1, PT := 500);
8  end_if;
9
10 if T_Fast.Q then
11
12 if Blink_F then Blink_F := 0; else Blink_F := 1; end_if;
13
14 T_Fast(IN := 0, PT := 1000);
15 else
16 T_Fast(IN := 1, PT := 1000);
17 end_if;
18
```

Рисунок 2.18 - Програмна реалізація генераторів імпульсів

2. Математична модель технологічного процесу

З метою відпрацювання системи без фізичного підключення до газопроводу, у блоці реалізовано алгоритм імітації зміни тиску [16].

Динаміка зміни вихідного тиску $Press_OUT$ розраховується за ітеративною формулою:

$$P_{\{t+1\}} = P_t \pm \delta, \quad (2.1)$$

- $P_{\{t+1\}}$ - розрахункове значення тиску в наступному циклі сканування контролера;

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- P_t - поточне значення тиску в даний момент часу;
- δ (Delta) - крок інтегрування, що визначає швидкість зміни параметра.

Алгоритм враховує (рис. 2.19):

- штатне наповнення: при команді на відкриття тиск зростає лінійно (+0.2 бар/цикл);
- фізичні обмеження: реалізовано "жорсткі" ліміти, які унеможливають вихід розрахункового значення за межі реальних фізичних величин (тиск не може бути меншим за 0.0 і більшим за вхідний тиск Press_IN).

```

--
20 if In_Sim_Press_On then
21
22     if In_Sim_Shock then
23
24         if Press_OUT < Press_IN then
25             Press_OUT := Press_OUT + 0.5;
26         else
27             Press_OUT := Press_IN;
28         end_if;
29
30     elsif T_Fast.Q and (Out_Cmd_Open or In_Fbk_Open) then
31
32         if Press_IN > 0.1 then
33             if Press_OUT < Press_IN then Press_OUT := Press_OUT + 0.2; end_if;
34         else
35
36             if Press_OUT < 14.0 then Press_OUT := Press_OUT + 0.2; end_if;
37         end_if;
38     end_if;
39
40     if T_Fast.Q and (Out_Cmd_Close or In_Fbk_Close) and not In_Sim_Shock then
41         if Press_OUT > 0.0 then
42             Press_OUT := Press_OUT - 0.2;
43         end_if;
44     end_if;
45
46 else
47     if T_Fast.Q and (Press_OUT > 0.0) then Press_OUT := Press_OUT - 0.5; end_if;
48 end_if;
49
50 if Press_OUT < 0.0 then Press_OUT := 0.0; end_if;
51
52 if (Press_IN > 0.1) and (Press_OUT > Press_IN) then
53     Press_OUT := Press_IN;
54 end_if;
--

```

Рисунок 2.19 - Фрагмент коду імітаційної моделі об'єкта

3. Діагностика та аварійний захист

Підсистема моніторингу здійснює безперервне порівняння поточного тиску з аварійною уставкою (13.5 бар) (рис. 2.20). Для підвищення стійкості системи до коливань вимірюваного сигналу застосовано алгоритм гістерезису:

- встановлення прапора аварії ($Alarm_State := 1$) відбувається при $P > 13.5$;
- скидання аварії відбувається лише при зниженні тиску до рівня $P < 12.5$.

```
5 |  
6 | if Press_OUT >= 13.5 then Alarm_State := 1;  
7 | elsif Press_OUT < 12.5 then Alarm_State := 0; end_if;  
8 |
```

Рисунок 2.20 - Логіка формування аварійного сигналу з гістерезисом

4. Пріоритетна логіка керування

Формування керуючих впливів на виконавчий механізм здійснюється за ієрархічною схемою пріоритетів (рис. 2.21) (від найвищого до найнижчого):

- рівень ПАЗ (Протиаварійний захист): якщо активний біт $Alarm_State$, система блокує будь-які інші алгоритми та формує примусову команду на закриття крана ($Out_Cmd_Close := 1$);
- рівень ручного керування: при активному сигналі In_Local керування передається оператору. Реалізовано захист від помилкових дій: одночасне натискання кнопок "Відкрити" та "Закрити" призводить до зупинки механізму;
- рівень автоматичного регулювання: у штатному режимі працює трипозиційний регулятор із зоною нечутливості. Алгоритм порівнює поточний тиск із завданням SP .

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

if Alarm_State then
    Out_Cmd_Open := 0; Out_Cmd_Close := 1;
elseif In_Local then
    if In_Open and In_Close then Out_Cmd_Open := 0; Out_Cmd_Close := 0;
    elseif In_Open and not In_Fbk_Open then Out_Cmd_Open := 1; Out_Cmd_Close := 0;
    elseif In_Close and not In_Fbk_Close then Out_Cmd_Close := 1; Out_Cmd_Open := 0;
    else Out_Cmd_Open := 0; Out_Cmd_Close := 0; end_if;
else
    if Press_OUT < (In_SP - In_Deadband) then Out_Cmd_Open := 1; Out_Cmd_Close := 0;
    elseif Press_OUT > (In_SP + In_Deadband) then Out_Cmd_Open := 0; Out_Cmd_Close := 1;
    else Out_Cmd_Open := 0; Out_Cmd_Close := 0; end_if;
end_if;

```

Рисунок 2.21 - Реалізація пріоритетного керування виконавчим механізмом

5. Формування вихідних сигналів

Фінальна стадія алгоритму відповідає за безпечну комутацію виходів:

- програмне блокування: створює умови через які неможливо одночасно подати напругу на котушки входу та виходу;
- обробка кінцевих вимикачів: сигнали In_Fbk_Open/Close автоматично знімають керуючу напругу при досягненні краном крайнього положення.

Для підвищення інформативності операторського інтерфейсу застосовано метод динамічної індикації. Світлова сигналізація аварійних станів (L_Alarm) модулюється низькочастотним сигналом Blink_S, тоді як індикація активних процесів переміщення арматури (L_Move) активується через високочастотний сигнал Blink_F (рис 2.22). Різна періодичність мигтіння дозволяє персоналу миттєво ідентифікувати пріоритетність подій та стан виконавчих механізмів на мнемосхемі.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

```

78 if Out_Cmd_Open and Out_Cmd_Close then
79     Out_Cmd_Open := 0;
80     Out_Cmd_Close := 0;
81 end_if;
82
83
84 if In_Fbk_Open then Out_Cmd_Open := 0; end_if;
85 if In_Fbk_Close then Out_Cmd_Close := 0; end_if;
86
87 L_Open := In_Fbk_Open;
88 L_Close := In_Fbk_Close;
89
90 if Alarm_State then
91     L_Alarm := Blink_S;
92 else
93     L_Alarm := 0;
94 end_if;
95
96 if (Out_Cmd_Open or Out_Cmd_Close) then
97     L_Move := Blink_F;
98 else
99     L_Move := 0;
100 end_if;
101

```

Рисунок 2.22 - Логіка комутації вихідних сигналів

2.3.3 Конфігурація інтерфейсу та внутрішніх змінних функціонального блоку

Важливою перевагою використання функціональних блоків (FB) є інкапсуляція даних. Для забезпечення взаємодії розробленого алгоритму із зовнішнім середовищем (датчиками, виконавчими механізмами та панеллю оператора) було розроблено структуру змінних блоку FB_Master_Control.

Згідно зі стандартом IEC 61131-3, змінні блоку розподілено на три класи доступу:

- INPUT - вхідні параметри (тільки для читання всередині блоку).
- OUTPUT - вихідні сигнали керування (результат роботи алгоритму).
- Members - внутрішні локальні змінні, недоступні ззовні, що використовуються для проміжних обчислень та зберігання стану (пам'ять блоку).

Вхідні змінні (Inputs)

Визначають режим роботи регулятора та передають фізичні параметри процесу. Повний перелік наведено в (табл. 2.1).

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.1 - Специфікація вхідних змінних (INPUT)

Ідентифікатор змінної	Тип даних	Опис / Призначення
In_Local	BOOL	Сигнал активації ручного режиму керування (з перемикача).
In_Open	BOOL	Команда оператора «Відкрити» (кнопка).
In_Close	BOOL	Команда оператора «Закрити» (кнопка).
In_Sim_Press_On	BOOL	Дозвіл на роботу модуля симуляції (увімкнення моделі).
In_Fbk_Open	BOOL	Сигнал зворотного зв'язку: Кран повністю відкрито.
In_Fbk_Close	BOOL	Сигнал зворотного зв'язку: Кран повністю закрито.
Press_IN	REAL	Поточне значення вхідного тиску в магістралі (бар).
In_SP	REAL	Завдання регулятора (Setpoint).
In_Deadband	REAL	Параметр зони нечутливості регулятора.
In_Sim_Shock	BOOL	Тестовий вхід для імітації аварійного збурення.

2. Вихідні змінні (Outputs)

Використовуються для передачі команд на фізичні виходи контролера (катушки клапанів, лампи) та передачі розрахункових даних (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 - Специфікація вихідних змінних (OUTPUT)

Ідентифікатор змінної	Тип даних	Опис / Призначення
Out_Cmd_Open	BOOL	Команда керування соленоїдом «Відкрити».
Out_Cmd_Close	BOOL	Команда керування соленоїдом «Закрити».
L_Open	BOOL	Керування лампою індикації положення «Відкрито».
L_Close	BOOL	Керування лампою індикації положення «Закрито».
L_Move	BOOL	Сигнал динамічної індикації руху (миготіння).
L_Alarm	BOOL	Сигнал аварійної сигналізації (миготіння).
Press_OUT	REAL	Розрахункове значення вихідного тиску (результат моделювання).

3. Внутрішні змінні (Members)

Дана група змінних формує внутрішню логіку функціонального блока, забезпечуючи коректну роботу таймерів, тригерів та механізмів пам'яті. Список змінних наведено в (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 - Специфікація внутрішніх змінних (Members)

Ідентифікатор змінної	Тип даних	Опис / Призначення
T_Slow	TON	Таймер формування частоти 1.0 Гц (для аварійної індикації).
T_Fast	TON	Таймер формування частоти 2.0 Гц (для індикації руху).
Blink_S	BOOL	Біт-меандр повільної частоти (змінює стан 0 \ 1).
Blink_F	BOOL	Біт-меандр швидкої частоти (змінює стан 0 \ 1).
Alarm_State	BOOL	Внутрішній прапор (біт пам'яті) наявності активної аварії.

Налаштування змінних виконувалось у редакторі параметрів функціонального блоку (Parameters/Variables Editor). Відповідність створеної структури розробленій специфікації зображена на рис. 2.26.

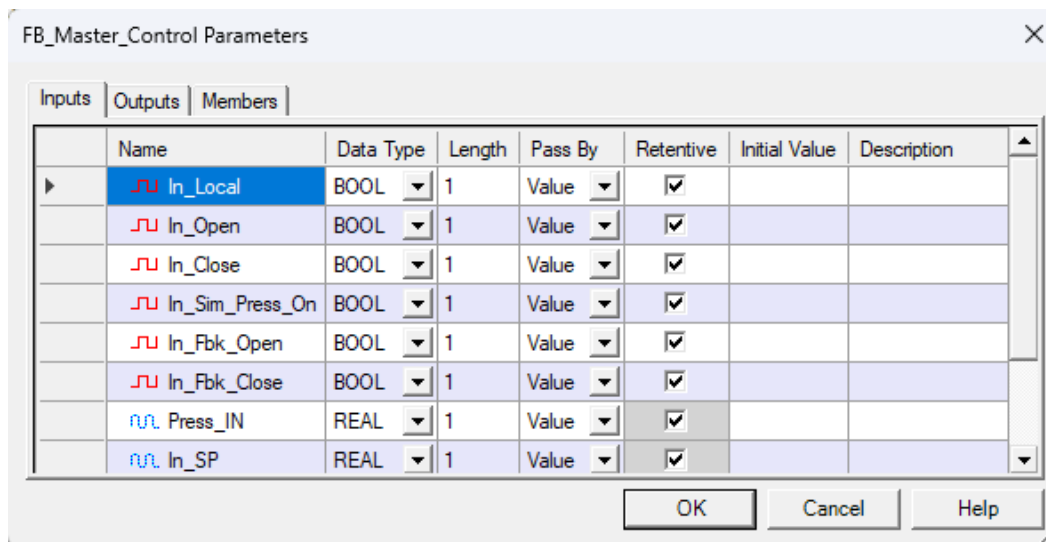


Рисунок 2.26 - Конфігурація змінних функціонального блоку в середовищі РАС Machine Edition

2.4 Реалізація головного алгоритму керування

Головна програма `_MAIN` є точкою входу в алгоритм керування контролера. Вона виконується циклічно і відповідає за диспетчеризацію даних: збір сигналів з модулів вводу, виконання логіки керування через функціональні блоки та розрахунок вторинних технологічних параметрів.

Для реалізації цього рівня обрано мову релейно-контактних схем (LD). Вибір графічної мови обумовлений вимогою забезпечення зручності експлуатації: обслуговуючий персонал може візуально відслідковувати проходження сигналу («Power Flow»), що значно спрощує діагностику системи.

Структура програми реалізована у вигляді послідовності логічних кіл (Rungs).

2.4.1 Попередня обробка сигналів та контур безпеки (Rung 1-2)

Реалізовано конвертацію сирих даних АЦП у фізичні одиниці вимірювання (бар). Алгоритм передбачає приведення значень до типу REAL та застосування блоку ділення `DIV_REAL`. Це дозволяє трансформувати дискретизований електричний сигнал у числове значення тиску, придатне для відображення в системі моніторингу та використання у математичних моделях АГРС

$$P_{\text{real}} = \frac{\text{Input}_{\text{raw}}}{K_{\text{scale}}}. \quad (2.2)$$

Результат записується у глобальну змінну `Main_Line_Pressure`.

У наступному колі реалізовано формування сигналу `System_Ready`. Використано логічне множення (AND) статусів апаратної готовності:

- наявність напруги керування (`Power_Ok`);
- нормальний стан кнопки аварійної зупинки (відсутність сигналу ESD).

Цей сигнал надалі використовується як дозвіл (EN) для роботи всіх виконавчих механізмів (рис 2.29).

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

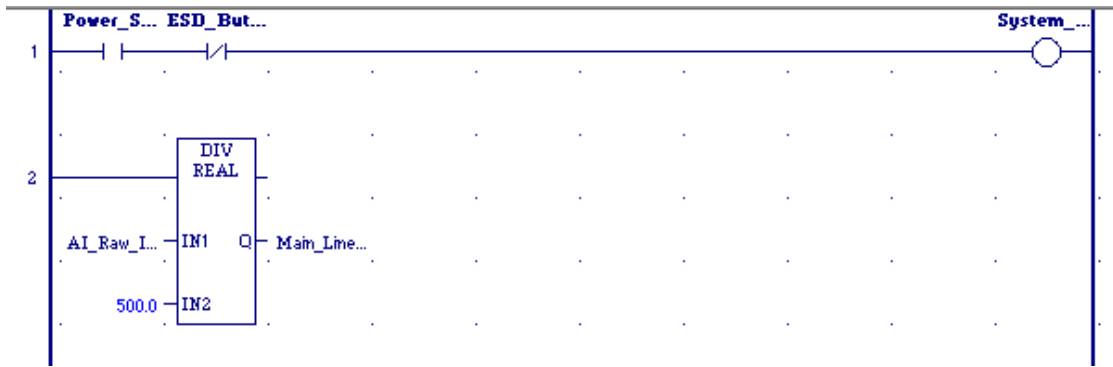


Рисунок 2.29 - Нормування аналогового сигналу та формування дозволу на роботу

2.4.2 Інтеграція ядра керування (Rung 3)

Центральним елементом алгоритму є виклик розробленого функціонального блоку на мові ST. У тіло програми LD вставлено екземпляр блоку FB_Master_Control (рис. 2.30).

На цьому етапі здійснюється комутація потоків даних:

- на входні ніжки блоку подаються змінні процесу (Main_Line_Pressure) та команди оператора;
- вихідні ніжки блоку прив'язуються до фізичних адрес дискретних виходів (%Q) для керування соленоїдами клапана та сигнальними лампами.

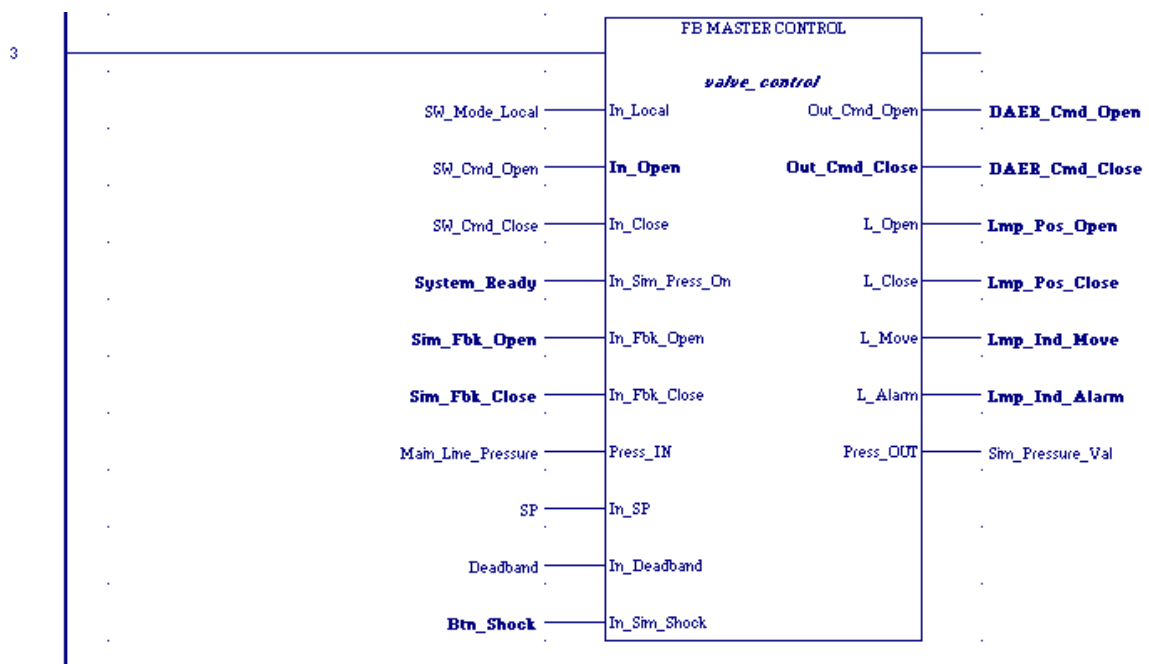


Рисунок 2.30 - Виклик функціонального блоку керування у головній програмі

2.4.3 Розрахунок технологічних параметрів засобами LD (Rung 4-5)

Для обчислення витрати газу використано стандартні математичні оператори бібліотеки PACSystems, що дозволило уникнути створення додаткових підпрограм.

1. Розрахунок перепаду тиску (Rung 4):

Використано блок віднімання SUB_REAL. Від вхідного тиску віднімається змодельований вихідний тиск.

$$\Delta P = P_{\{in\}} - P_{\{out\}}. \quad (2.3)$$

Отримане значення використовується як проміжний результат.

2. Обчислення витрати (Rung 5):

Використано блок множення MUL_REAL. Значення перепаду множиться на коефіцієнт пропускної здатності регулятора (K_v).

$$Q = \Delta P \times K_v. \quad (2.4)$$

Результат записується у змінну Gas_Flow_Calc, яка виводиться на панель оператора (рис. 2.31).

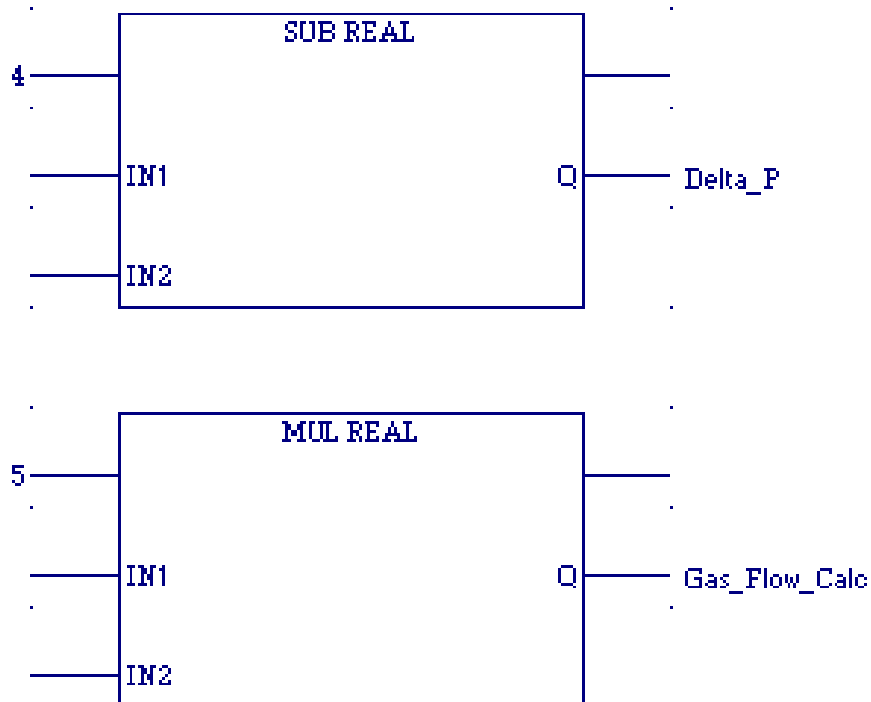


Рисунок 2.31 - Реалізація математичних розрахунків засобами мови LD

2.4.4 Реалізація імітатора кінематики виконавчого механізму

Для забезпечення можливості комплексного налагодження системи без підключення до діючого технологічного обладнання, у головній програмі реалізовано алгоритм імітації руху запірної арматури.

Оскільки реальні пневмо- або електроприводи мають інерційність (час повного ходу клапана може складати від 10 до 30 секунд), миттєва поява сигналу зворотного зв'язку після подачі команди є неприродною і може бути розцінена системою діагностики як помилка датчика.

Для відтворення реальної фізичної поведінки приводу в мережах Rung 6 та Rung 7 реалізовано часові затримки на базі таймерів TON (Timer On Delay).

Алгоритм роботи імітатора:

Алгоритм імітації роботи приводу (Rung 6): Для відтворення динаміки переміщення затвора реалізовано часову затримку на базі таймера Timer1. Після активації команди Cmd_Open починається відлік часу (наприклад, 5с). Після завершення вихід таймера ініціює зміну стану виконавчого механізму. Керування внутрішніми статусними бітами реалізовано за допомогою тригерної логіки (S/R-ланок), що забезпечує стійку фіксацію стану навіть після зняття керуючого імпульсу:

- котушка SET (S) встановлює віртуальний кінцевик "Відкрито" (Sim_Fbk_Open) в одиницю;
- котушка RESET (R) скидає віртуальний кінцевик "Закрито" (Sim_Fbk_Close) в нуль.

Імітація закриття (Rung 7): працює за тим самим принципом, при подачі команди Cmd_Close, таймер відраховує час ходу, після чого:

- котушка SET (S) активує сигнал "Закрито";
- котушка RESET (R) деактивує сигнал "Відкрито".

Такий підхід дозволяє відпрацьовувати перехідні режими, коли клапан знаходиться у проміжному положенні (обидва кінцевики = 0), та перевіряти реакцію на тривалий час перестановки крана.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49



Рисунок 2.32 - Логіка імітації руху приводу з використанням таймерів та тригерних функцій (Set/Reset)

2.5 Організація глобального адресного простору

Організація адресного простору та глобальних змінних: Для забезпечення безперервного обміну даними між головним циклом програми та прикладними функціональними блоками розроблено реєстр глобальних змінних.

У проєкті використано наступні типи пам'яті:

- %I (Discrete Input): Фізичні дискретні входи (кнопки, кінцевики);
- %Q (Discrete Output): Фізичні дискретні виходи (соленоїди, лампи);
- %M (Memory): Внутрішні біти для логіки та симуляції;
- %R (Registers): Регістри для зберігання числових значень (тиск, уставки, таймери).

Повний перелік розроблених змінних, згрупованих за функціональним призначенням, наведено у (табл. 2.4).

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

Таблиця 2.4 - Реєстр глобальних змінних системи керування

Ім'я змінної (Symbol)	Тип даних	Тип пам'яті	Опис / Призначення
Параметри та розрахунки			
AI_Raw_Pressure	INT	%AI	"Сире" значення з АЦП датчика тиску (0..32000).
Main_Line_Pressure	REAL	%R	Масштабоване значення вхідного тиску (бар).
Sim_Pressure_Val	REAL	%R	Розрахунковий тиск на виході (результат моделі).
Gas_Flow_Calc	REAL	%R	Поточна витрата газу (м ³ /год).
Керування та симуляція			
DAER_Cmd_Open	BOOL	%M	Команда на відкриття (Double Acting Electro- Block).
DAER_Cmd_Close	BOOL	%M	Команда на закриття запірної арматури.
Sim_Fbk_Open	BOOL	%M	Змодельований сигнал кінцевика "Відкрито".
Sim_Fbk_Close	BOOL	%M	Змодельований сигнал кінцевика "Закрито".
Timer_Preset	UINT	%R	Уставка часу ходу приводу для симулятора (мс).

Висновки до розділу 2

У другому розділі вирішено комплекс задач, пов'язаних із програмною реалізацією системи керування запірною арматурою на базі платформи Emerson PACSystems.

Здійснено конфігурування апаратного забезпечення у середовищі PAC Machine Edition налаштовано параметри контролера RSTi-EP CPE205 та налаштовано входи та виходи для модулів дискретних сигналів. Це забезпечило відповідність програмної моделі фізичній архітектурі системи керування та коректну адресацію змінних.

Розроблено архітектуру програмного забезпечення, застосовано модульний підхід згідно зі стандартом IEC 61131-3. Логіку розділено на два рівні: головну програму _MAIN (на мові LD) для диспетчеризації сигналів та спеціалізований функціональний блок FB_Master_Control (на мові ST) для складних обчислень та моделювання процесів.

Створено «цифровий двійник» технологічного процесу, який імітує зміну тиску в трубопроводі та час ходу пневмоприводів, що дозволяє тестувати систему без підключення до реального об'єкта.

Додано пріоритетну логіку безпеки, де функції протиаварійного захисту мають пріоритет над командами оператора та автоматичного регулювання.

Створено алгоритм гістерезису аварійних сигналів, що підвищує завадостійкість системи та запобігає «брязкоту» виконавчих механізмів у пограничних режимах.

Створено структурований реєстр глобальних змінних, який забезпечує прозорий обмін даними між логічним контролером, підсистемою вводу та виводу.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ

3.1 Методика тестування системи

Основним етапом життєвого циклу розробки систем автоматизованого керування, що передує впровадженню на реальному промисловому об'єкті, є етап комплексного тестування та верифікації програмного забезпечення. Враховуючи специфіку об'єкта керування (запірна арматура магістрального газопроводу), проведення натурних випробувань на діючому обладнанні пов'язане з високими техногенними ризиками, економічними витратами та неможливістю вільного створення аварійних ситуацій для перевірки систем захисту.

Основою даної роботи становить імітаційне моделювання. В основі обраного підходу лежить принцип програмної заміни фізичних компонентів АГРС їхніми математичними еквівалентами, інтегрованими безпосередньо в логіку контролера. Застосування концепції Software-in-the-Loop (SiL) дозволяє виконати всебічну перевірку алгоритмів керування у замкнутому контурі без ризику пошкодження реального обладнання. Це забезпечує можливість безпечного відпрацювання сценаріїв аварійних ситуацій та верифікацію логіки блокувань ще до етапу впровадження системи на об'єкті.

3.1.1 Об'єкт та засоби дослідження

Об'єктом дослідження є прикладне програмне забезпечення системи автоматичного керування положенням запірної арматури, розроблене у середовищі PAC Machine Edition 10.7.

Як основний інструмент проведення експериментів використовується вбудований симулятор контролера (PAC Systems Simulator), який емулює роботу центрального процесора (CPU), пам'яті та циклів сканування реального ПЛК. Це забезпечує високу достовірність результатів, оскільки виконання коду відбувається за тими ж принципами, що і в реальному обладнанні (із врахуванням часу циклу, пріоритетності задач та обмежень типів даних).

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		53

Для спостереження та запису результатів експерименту використовуються діагностичні засоби середовища розробки:

- **Data Watch:** інструмент для спостереження за змінними у реальному часі. Використовується для контролю дискретних сигналів (стани кінцевих вимикачів, команд) та аналогових величин (тиск, уставка);
- **Data Monitor:** для графічної візуалізації перехідних процесів та оцінки динамічних характеристик системи.

3.1.2 План та сценарії тестування

Перевірка логіки функціонування:

- дослідження реакції системи на команди оператора в ручному режимі (Local Mode);
- перевірка коректності роботи механізмів блокування, які унеможливають одночасну подачу суперечливих команд (наприклад, одночасне відкриття та закриття);
- верифікація роботи світлової сигналізації та індикації станів об'єкта.

Дослідження динаміки автоматичного регулювання:

- аналіз перехідної характеристики системи при стрибкоподібній зміні уставки (Set Point);
- оцінка якості регулювання: часу виходу на режим, наявності перерегулювання та статичної похибки;
- перевірка зони нечутливості (Deadband) для забезпечення стійкості системи.

Випробування системи протиаварійного захисту:

- штучне введення параметрів технологічного процесу в аварійні зони (імітація перевищення тиску понад 13.5 бар);
- вимірювання часу реакції системи на аварійну подію;
- перевірка алгоритму запам'ятовування аварії та умов її скидання (гістерезис аварійного сигналу).

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3.1.3 Критерії оцінки результатів

Система вважається такою, що пройшла верифікацію успішно, якщо виконуються наступні умови:

- відсутні логічні конфлікти та «зависання» алгоритму в невизначених станах;
- виконавчий механізм забезпечує підтримку технологічного параметра (тиску) в заданих межах з похибкою, що не перевищує половину зони нечутливості;
- при виникненні аварійної ситуації пріоритет керування миттєво передається підсистемі захисту, яка переводить об'єкт у безпечний стан (закриття арматури) незалежно від дій оператора чи наявності інших команд.

3.2 Підготовка та конфігурація середовища імітаційного моделювання

Для реалізації методики Software-in-the-Loop у середовищі PAC Machine Edition передбачено спеціалізований інструментарій PACSystems Simulator, який дозволяє емулювати роботу апаратних засобів контролера на персональному комп'ютері. Підготовка середовища до проведення експериментів включає активацію симулятора, налаштування каналів зв'язку та завантаження скомпільованого коду.

3.2.1 Активація та налаштування віртуального контролера

Налаштування мережевих параметрів віртуального контролера виконувалося у меню Inspector. Для забезпечення локального з'єднання в межах однієї робочої станції було використано стандартний інтерфейс з IP-адресою 127.1.0.1 (рис.3.1). Це дозволяє виключити вплив зовнішніх мережевих затримок на чистоту експерименту та гарантує стабільність каналу передачі даних під час відлагодження.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		55

Inspector	
Controller Target Name	Valve_control1
Module Type Package Name	
Update Rate (ms)	250
Sweep Time (ms)	Offline
Controller Status	Offline
Scheduling Mode	Normal
Force Compact PVT	True
Enable Shared Variables	False
Productivity Suite Enabled	False
DLB Heartbeat (ms)	1000
Enhanced Security	False
Compression Level	High
Physical Port	ETHERNET
IP Address	127.1.0.1
Additional Configuration	

Рисунок 3.1 - Конфігурація параметрів зв'язку з віртуальним контролером

3.2.2 Компіляція та завантаження проекту в пам'ять симулятора

Після налаштування комунікації було проведено процедуру повної компіляції проекту. Цей процес дозволив перевірити цілісність адресного простору змінних та відсутність синтаксичних помилок у блоках ST та LD, розроблених у другому розділі.

Процедура завантаження (Download) у віртуальний контролер включала наступні кроки:

Встановлення з'єднання: перевірка статусу симулятора (режим Programmer Mode) зображено на рис. 3.2.

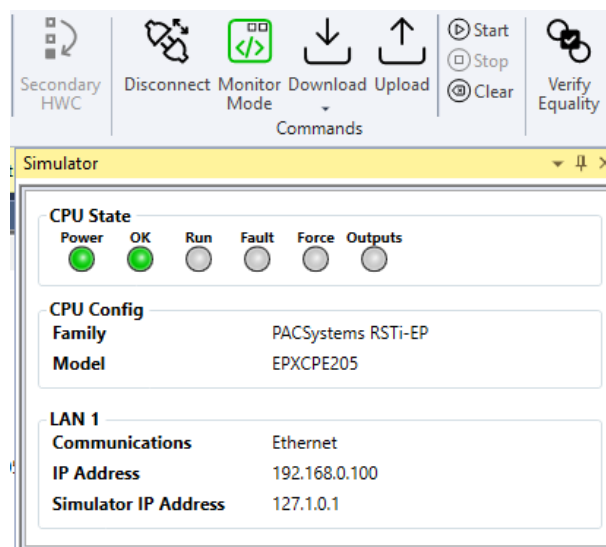


Рисунок 3.2 - Статус віртуального контролера в режимі виконання (Run Mode)

Завантаження конфігурації та логіки (рис.3.3): Передача параметрів налаштування віртуальних слотів та модулів вводу/виводу. Завантаження логіки: Запис програмного коду функціонального блоку FB_Master_Control та основної програми _MAIN у пам'ять емулятора.

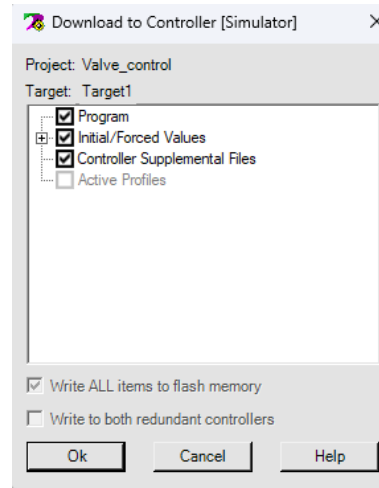


Рисунок 3.3 - Завантаження конфігурації та логіки

По завершенню завантаження контролер було переведено в режим виконання (Run Mode) з дозволом на виконання логічних операцій, про що свідчить зелена індикація статусу у нижній панелі середовища розробки (рис.3.4).

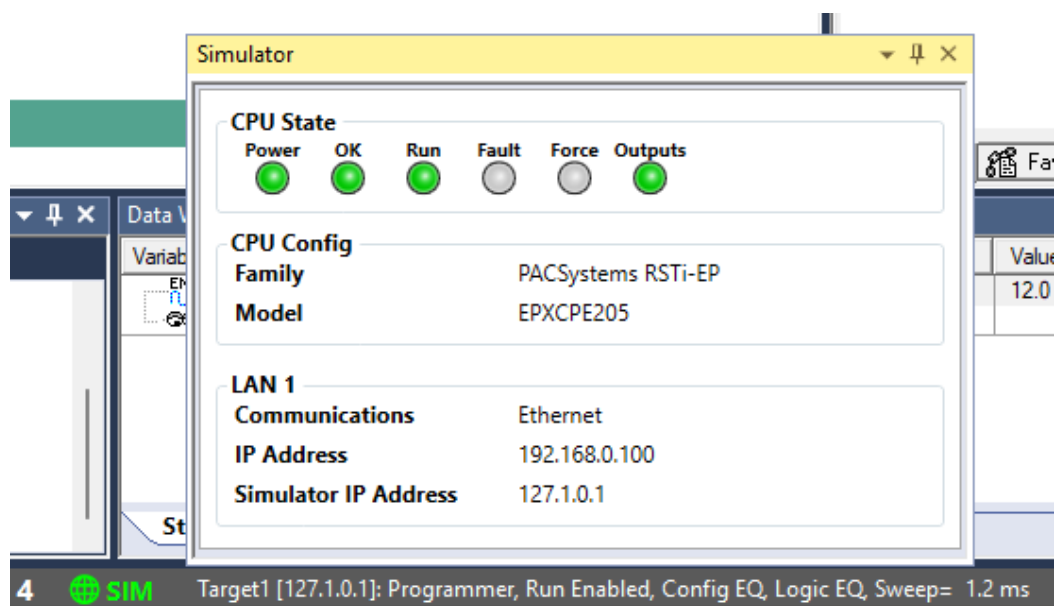


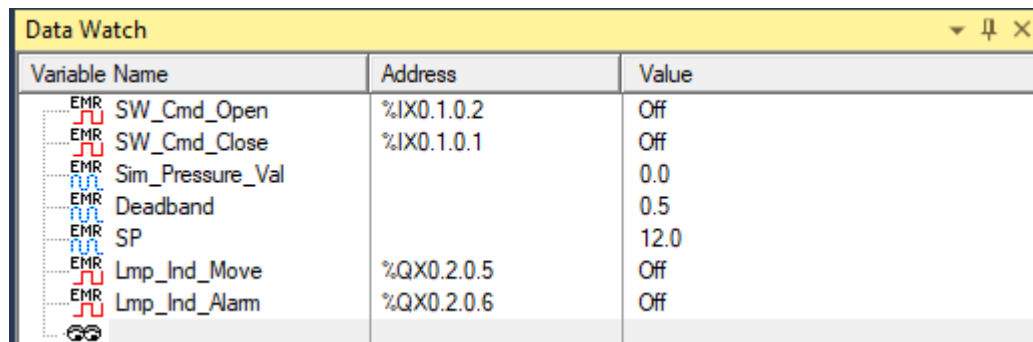
Рисунок 3.4 – індикація статусу контролера

3.2.3 Налаштування засобів моніторингу та діагностики

Для оперативного контролю ходу експерименту та реєстрації результатів моделювання було сконфігуровано інструмент Data Watch який зображено на рис.3.5. У вікно моніторингу було додано ключові змінні, що підлягають дослідженню:

- SW_Cmd_Open, SW_Cmd_Close - для подачі керуючих впливів;
- Press_OUT - для спостереження за динамікою тиску;
- SP (Уставка) та Deadband (Зона нечутливості) - для зміни параметрів регулятора "на льоту";
- L_Alarm, L_Move - для контролю статусних сигналів.

Така конфігурація робочого простору дозволяє одночасно керувати системою (змінюючи значення змінних BOOL з 0 на 1) та спостерігати реакцію об'єкта у числовому вигляді.



Variable Name	Address	Value
EMR SW_Cmd_Open	%IX0.1.0.2	Off
EMR SW_Cmd_Close	%IX0.1.0.1	Off
EMR Sim_Pressure_Val		0.0
EMR Deadband		0.5
EMR SP		12.0
EMR Lmp_Ind_Move	%QX0.2.0.5	Off
EMR Lmp_Ind_Alarm	%QX0.2.0.6	Off

Рисунок 3.5 - Підготовка вікна Data Watch для проведення експериментів

3.3 Перевірка функціонування системи в ручному режимі керування

Першим етапом верифікації алгоритмів стало дослідження поведінки системи в режимі місцевого (ручного) керування. Цей режим є базовим для будь-якої промислової установки, оскільки він використовується персоналом для проведення пусконаладжувальних робіт, технічного обслуговування та аварійного керування.

Метою даного етапу експерименту було підтвердження коректності обробки команд оператора, перевірка роботи світлової сигналізації та, що

найважливіше, тестування надійності програмних блокувань, які запобігають помилковим діям персоналу.

3.3.1 Верифікація команд відкриття та закриття

Для проведення тесту у вікні Data Watch змінну перемикача режимів SW_Mode_Local було встановлено у значення TRUE. Це активувало відповідну гілку алгоритму у функціональному блоці FB_Master_Control.

Сценарій випробування виглядав наступним чином. Оператором подано команду на відкриття: SW_Cmd_Open := 1. Система сформувала вихідний сигнал Out_Cmd_Open, що призвело до початку зростання тиску Press_OUT (рис.3.6). Після досягнення тиском верхньої межі спрацював імітований кінцевий вимикач Sim_Fbk_Open. Система автоматично зняла напругу з виходу керування, зупинивши віртуальний привід.

Аналогічний алгоритм було перевірено для команди закриття (SW_Cmd_Close).

Variable Name	Address	Value
EMR SW_Cmd_Open	%IX0.1.0.2	On
EMR SW_Cmd_Close	%IX0.1.0.1	Off
EMR Sim_Pressure_Val		8.599997
EMR Deadband		0.5
EMR SP		12.0
EMR Lmp_Ind_Move	%QX0.2.0.5	Off
EMR Lmp_Ind_Alarm	%QX0.2.0.6	Off

Рисунок 3.6 - Стан змінних при відпрацюванні команди «Відкрити» в ручному режимі

3.3.2 Аналіз роботи динамічної індикації

Важливим ергономічним показником системи керування є надання оператору повної інформації про стан об'єкта. У розробленому програмному коді реалізовано логіку керування сигнальними лампами, яка також підлягала перевірці.

Схему налаштовано так, щоб оператор чітко бачив різницю між станом спокою і рухом. Поки кран відкривається або закривається, індикатор на екрані швидко блимає (кожні 150 мс). Це робить таймер T_Fast. Як тільки кран

повністю дійшов до кінцевого положення, блимання припиняється, і лампочка просто світиться постійно. Це дозволяє одразу зрозуміти: процес ще йде чи вже завершився.

Це підтверджує коректність роботи генераторів імпульсів (таймерів TON), налаштованих у блоці FB_Master_Control.

3.3.3 Тестування системи програмних блокувань

Найкритичнішим тестом у даному підрозділі стала перевірка захисту від суперечливих команд. У реальних умовах одночасна подача напруги на обмотки «Відкрити» та «Закрити» електроприводу може призвести до короткого замикання або механічного пошкодження редуктора.

Для перевірки надійності алгоритму було змодельовано помилку оператора:

- активовано команду на відкриття SW_Cmd_Open;
- не знімаючи попередньої команди, активовано команду на закриття SW_Cmd_Close.

Результат тесту: Після появи другої команди контролер обнулив обидва керуючі виходи: Out_Cmd_Open := 0 Out_Cmd_Close := 0

Виконавчий механізм зупинився. Ця поведінка повністю відповідає логіці безпеки, закладеній у коді: if Out_Cmd_Open and Out_Cmd_Close then Out_Cmd_Open := 0; Out_Cmd_Close := 0; end_if;

Таким чином, підтверджено, що система має пріоритет безпеки над виконанням команд, що унеможливорює вихід обладнання з ладу через людський фактор, результат зображено на рис.3.7.

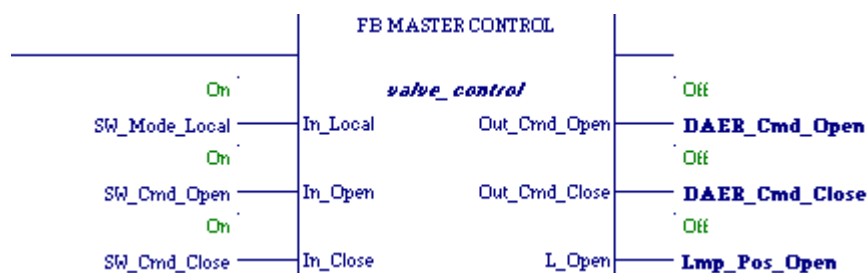


Рисунок 3.7 - Демонстрація роботи програмного блокування при одночасних командах

3.4 Аналіз динамічних характеристик системи автоматичного регулювання

Дослідження динаміки автоматичного регулювання: наступним етапом верифікації став аналіз функціонування системи в замкнутому автоматичному режимі. Керуючий вплив у цьому контурі формується на основі розрахунку неузгодження між поточним тиском та заданою уставкою (SP). Основними критеріями оцінки якості регулювання визначено динамічну стійкість контуру, відсутність високочастотних автоколиваний виконавчих механізмів у стабільному стані, а також мінімізацію статичної та динамічної похибки при відпрацюванні зовнішніх технологічних збурень.

3.4.1 Зняття кривої розгону

Для проведення експерименту було деактивовано ручний режим (SW_Mode_Local := FALSE), що передало керування алгоритму автоматичного регулятора, реалізованому в блоці FB_Master_Control.

Параметри експерименту:

- уставка (SP): 8.0 бар;
- зона нечутливості (Deadband): 0.5 бар;
- початковий тиск: 0.0 бар.

Імітаційна модель забезпечує лінійне зростання тиску після відкриття вхідного крана. Дискретність приросту становить 0,2 бар з кроком 150 мс, що імітує інерційність газового середовища.

Спостереження за змінними у вікні Data Monitor (рис. 3.8) дозволило зафіксувати наступну динаміку:

- фаза регулювання: поки значення тиску було меншим за нижню межу зони нечутливості, вихід контролера залишався активним;
- фаза стабілізації: у момент перетину значення 8.5 бар (фактично на наступному кроці дискретизації - 8.6 бар), умова перестала виконуватися;

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		61

- результат: команда Out_Cmd_Open перейшла в стан FALSE, і зростання тиску припинилося.

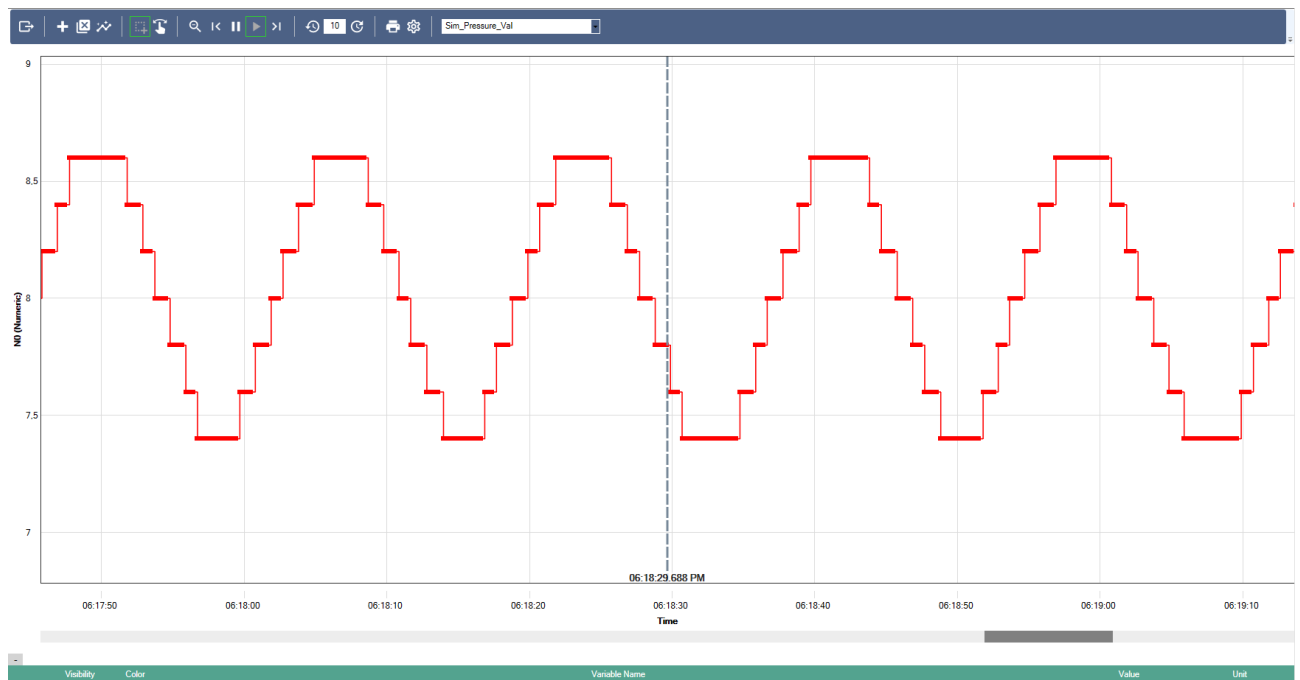


Рисунок 3.8 - Перехідний процес зміни тиску при автоматичному виході на уставку

3.4.2 Дослідження впливу зони нечутливості на стійкість системи

Окрему увагу було приділено аналізу впливу параметра Deadband на ресурс виконавчого механізму. В теорії автоматичного керування відомо, що відсутність гістерезису в двопозиційних регуляторах призводить до явища "брязкоту" - частих короткочасних включень приводу при найменших змінах вимірюваного параметра.

Для перевірки цього явища було проведено серію імітаційних тестів зі зменшеною зоною нечутливості ($Deadband = 0.1$).

Результати показали, що при наближенні до уставки система стає більш чутливою до кроку дискретизації моделі, що може викликати зайві комутації виходів.

Повернення параметра до розрахованого значення (0.5) підтвердило правильність налаштувань:

- привід вмикається лише тоді, коли відхилення тиску є суттєвим;

					КРМ.АКСМ - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		62

- у зоні спокою виходи контролера гарантовано вимкнені ($Out_Cmd_Open = 0$ та $Out_Cmd_Close = 0$), що забезпечує пасивне охолодження двигуна приводу та заощадження електроенергії.

3.5 Випробування підсистеми протиаварійного захисту та блокувань

Ключовим критерієм придатності будь-якої автоматизованої системи керування (АСК) до промислової експлуатації є надійність її підсистеми протиаварійного захисту (ПАЗ). Згідно з вимогами нормативних документів у нафтогазовій галузі, алгоритми захисту повинні мати найвищий пріоритет виконання та гарантувати переведення технологічного об'єкта у безпечний стан незалежно від дій оператора чи поточного режиму роботи контролера.

3.5.1 Імітація аварійного перевищення тиску (Fault Injection)

Для проведення випробувань було застосовано методику Fault Injection (ін'єкція несправностей). У нормальному режимі роботи система автоматичного регулювання утримує тиск на рівні уставки 8.0 бар. Для створення аварійної ситуації було штучно заблоковано роботу контуру зворотного зв'язку та примусово встановлено значення тиску Press_OUT у зону критичних значень.

Сценарій розвитку аварійної ситуації виглядав наступним чином:

- початкові умови: Тиск у системі становив 8.0 бар, аварійна сигналізація відсутня ($L_Alarm = FALSE$).
- збурення: імітовано неконтрольоване зростання тиску. При перетині позначки 13.5 бар, програмний компаратор, реалізований у блоці FB_Master_Control, зафіксував порушення.
- реакція системи: внутрішній прапорець Alarm_State миттєво перейшов у стан логічної одиниці. Активувалася світлова сигналізація аварії L_Alarm.

Спрацювала логіка пріоритетного захисту в результаті якої значення Out_Cmd_Open змінилось на 0, а Out_Cmd_Close на 1.

Візуалізація процесу у вікні Data Watch (рис. 3.9) підтвердила, що час реакції системи (від моменту фіксації перевищення уставки до видачі команди

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

на відсічний клапан) склав менше одного циклу сканування контролера, що гарантує локалізацію аварії на ранній стадії.

Variable Name	Address	Value
EMR SW_Cmd_Open	%IX0.1.0.2	Off
EMR SW_Cmd_Close	%IX0.1.0.1	Off
EMR Sim_Pressure_Val		13.59999
EMR Deadband		0.5
EMR SP		15.0
EMR Lmp_Ind_Move	%QX0.2.0.5	Off
EMR Lmp_Ind_Alarm	%QX0.2.0.6	On
EMR DAER_Cmd_Close	%QX0.2.0.1	On
EMR DAER_Cmd_Open	%QX0.2.0.2	Off

Рисунок 3.9 - Реакція системи керування на аварійне підвищення тиску

3.5.2 Дослідження алгоритму гістерезису аварійного сигналу

Щоб дискретні виходи системи працювали стабільно реалізовано механізм який стабілізує коливання сигналів. Коли параметр знаходиться в дозволених межах, випадкові шуми датчика можуть спричинити циклічне спрацювання захисту. Створений алгоритм гістерезису створює зону нечутливості яка запобігає безперервній активації захисту. Це дозволяє уникнути певну частину механічного зносу пристроїв регуляції та підвищує загальну надійність.

В ході тестування досліджувався процес повернення системи до нормального стану:

- після спрацювання захисту тиск почав знижуватися завдяки відкриттю клапана на скидання;
- коли значення досягає 13.4 бар (що нижче порогу аварії), сигнал Alarm_State залишався активним. Це свідчить про коректну роботу "засувки" аварії;
- аварійний статус був знятий автоматично лише після зниження тиску до рівня 12.5 бар.

Така різниця між точкою включення (13.5) та виключення (12.5) створює зону стабільності шириною 1.0 бар, що є необхідною умовою для надійної роботи виконавчих механізмів в умовах зашумлених сигналів датчиків.

3.5.3 Перевірка пріоритетності блокувань

Фінальним тестом стала спроба втручання оператора в роботу системи під час активної аварії. При наявному сигналі Alarm_State = TRUE була подана ручна команда на відкриття клапана (SW_Cmd_Open := 1).

Під час тестування було підтверджено, що спроба примусово відкрити клапан за наявності активного блокування була автоматично відхилена системою. Це означає що система працює правильно з відповідністю до побудованої логіки програми, де функції протиаварійного захисту мають пріоритет над командами оператора.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі виконано експериментальне дослідження розробленої системи керування запірною арматурою з використанням методології Software-in-the-Loop (SiL). Проведені випробування дозволили підтвердити відповідність програмного забезпечення технічним вимогам та отримати наступні результати.

Методику імітаційного моделювання успішно перевірено за допомогою PACSystems Simulator. Це програмне середовище дозволило змодельовати замкнений контур керування і отримати результати, не використовуючи реальне обладнання.

Випробування підтвердили коректність роботи команд та засобів індикації. Реалізована система програмних блокувань надійно захищає від аварій, робить неможливим виконання конфліктуючих сигналів керування.

Спостереження за перехідними характеристиками підтвердило, що регулятор забезпечує підтримку заданого тиску. Експерименти з налаштуванням зони нечутливості засвідчили ефективність гістерезису: він запобігає надлишковим спрацюванням виконавчих пристроїв, заощаджуючи їх ресурс.

Перевірка системи протиаварійного захисту методом штучних збурень підтвердила її працездатність. Алгоритм реагує на відхилення і блокує потенційно небезпечні дії оператора, примусово переводячи об'єкт у безпечний стан.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		65

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розроблено систему автоматичного керування запірною арматурою на базі PLC Emerson та перевірено працездатність системи за допомогою вбудованого симулятора програмного середовища.

За результатами системного аналізу визначено пріоритетні вимоги до автоматизації АГРС. Забезпечення автономності та високий рівень безпеки. Встановлено, що для переходу до технологій які мінімізують потребу у втручанні людини необхідне впровадження інтелектуальних систем керування, здатних самостійно діагностувати несправності та локалізувати аварії.

Підтверджено доцільність використання блоку “DAER-2-3-1” як інтерфейсу керування пневмоприводами. Визначено, що конструктивне об'єднання елементів у єдиному корпусі з вибухозахистом суттєво спрощує схему підключення та підвищує надійність системи у вибухонебезпечних умовах.

Визначено переваги контролера Emerson CPE205 як платформи для критичної інфраструктури, основними з яких є високий рівень кіберзахисту (Achilles Level 2), підтримка технологій ІоТ та стійкість до жорстких температурних умов.

У середовищі PAC Machine Edition реалізовано модульне програмне забезпечення. Поєднання мов програмування LD для загальної логіки та ST для обчислювальних задач у UDFB дозволило створити систему керування.

Шляхом інтеграції симуляційного модуля розроблено «цифровий двійник» системи, що враховує інерційність приводів та фізику процесу. Це зробило можливим застосування методики SiL для безпечного тестування та налагодження алгоритмів керування без залучення діючого обладнання.

Реалізовано систему ПАЗ, яка має найвищий пріоритет в ієрархії керування. Введення гістерезису в алгоритми обробки аварій підвищило стійкість системи до завад і сприяло збереженню ресурсу виконавчих механізмів шляхом запобігання їх частому перемиканню.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		66

Комплексні симуляційні тести підтвердили стабільність роботи системи. Вона забезпечує регулювання тиску, коректне перемикавання режимів та миттєву реакцію на аварії, гарантуючи переведення станції у безпечний стан при виникненні нештатних ситуацій.

					КРМ.АКС _м - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		67

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Закон України «Про критичну інфраструктуру»: прийнятий 16 лист. 2021 р. № 1882-IX // Відомості Верховної Ради України. - 2022. - № 3. - Ст. 14.
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серп. 2017 р. № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>.
3. Кодекс газотранспортної системи: затверджено постановою НКРЕКП від 30.09.2015 № 2493 // Офіційний вісник України. - 2015. - № 92. - Ст. 3137.
4. НПАОП 0.00-1.76-15. Правила безпеки систем газопостачання: затверджено наказом М-ва енергетики та вугільної пром-сті України від 15.05.2015 № 285. - Офіц. вид. - К.: Основа, 2015.
5. Будівництво блочної АГРС-10. Контролюємий пункт автоматизованою газорозподільною станцією (КП АГРС АСТ). Основні технічні рішення: робочий проект / ВАТ «Факел». - Фастів, 2011. - 115 арк.
6. ДБН В.2.5-20:2018. Газопостачання. - [Чинний від 2019-07-01]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2019. - 108 с. - (Державні будівельні норми України).
7. Технічний опис та інструкція з експлуатації блоку керування краном DAER-2-3-1 ТОВ «ДАЕР».
8. ДСТУ EN 60079-0:2017. Вибухонебезпечні середовища. Частина 0. Устаткування. Загальні вимоги (EN 60079-0:2012, IDT). - [Чинний від 2017-07-26]. - К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017.
9. SIMATIC S7-300 CPU 31xC and CPU 31x: Technical Data: Manual / Siemens AG. - Nuremberg, 2011. - 352 p. - (A5E00105475-12).
10. PACSystems RSTi-EP CPE 205 Programmable Automation Controller: Data Sheet / Emerson Automation Solutions. - Charlottesville, VA, 2020. - 4 p. - (GFK-3026).
11. Achilles Level 2 Certification Requirements: Technical Report / Wurldtech Security Technologies. - Vancouver, 2015. - 18 p.

					КРМ.АКСМ - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		68

12. PACSystems RX3i and RSTi-EP CPU Reference Manual: User Manual / Emerson. - 2019. - (GFK-2222).
13. RSTi-EP Slice I/O User Manual: User Manual / Emerson Automation Solutions. - Augsburg, Germany, 2021. - 240 p. - (GFK-2958).
14. PAC Machine Edition Logic Developer PLC Getting Started: User Manual / Emerson Automation Solutions. - Charlottesville, VA, 2019. - 102 p. - (GFK-1918).
15. ДСТУ EN 61131-3:2022. Програмовані контролери. Частина 3. Мови програмування (EN 61131-3:2013, IDT; IEC 61131-3:2013, IDT). - [Чинний від 2023-01-01]. - К.: ДП «УкрНДНЦ», 2023. - (Національний стандарт України).
16. Побудова і моделювання уніфікованих систем управління виконавчими механізмами об'єктів газотранспортної системи / І. В. Назаренко, В. Д. Ференець, Д. Є. Суханов, М. Я. Николайчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2014. - № 1/2(67). - С. 41–48.
17. OPC UA Security Concepts for Industrial Automation / OPC Foundation. - Scottsdale, AZ, 2021. - White Paper.

					КРМ.АКСм - 07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		69

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема: Проектування апаратно-програмних засобів системи керування запірною арматурою на базі PLC "Emerson"

Обсяг ПЗ – 69 аркушів, 45 рисунків, 6 таблиць, 17 використаних джерел.

Перелік креслень графічної частини:

1. КРМ.АКСм – 07.00.00.001 Е2 - Дерево проєкту. Схема функціональна.
2. КРМ.АКСм – 07.00.00.002 - Часова діаграма спрацювання протиаварійного захисту.
3. КРМ.АКСм – 07.00.00.003 Е2 - FВ блок контролю запірної арматури в режимі runtime
4. КРМ.АКСм – 07.00.00.004 - Часові діаграми динаміки ходу затвору клапана.

„_____” _____ 2025р

Підпис студента

Гундяка С.В.

Додаток А – Код FB блоку

```
if T_Slow.Q then
```

```
    if Blink_S then Blink_S := 0; else Blink_S := 1; end_if;
```

```
    T_Slow(IN := 0, PT := 500);
```

```
else
```

```
    T_Slow(IN := 1, PT := 500);
```

```
end_if;
```

```
if T_Fast.Q then
```

```
    if Blink_F then Blink_F := 0; else Blink_F := 1; end_if;
```

```
    T_Fast(IN := 0, PT := 1000);
```

```
else
```

```
    T_Fast(IN := 1, PT := 1000);
```

```
end_if;
```

```
if In_Sim_Press_On then
```

```
    if In_Sim_Shock then
```

```
        if Press_OUT < Press_IN then
```

```
            Press_OUT := Press_OUT + 0.5;
```

```
        else
```

```
            Press_OUT := Press_IN;
```

```
        end_if;
```

```
    elsif T_Fast.Q and (Out_Cmd_Open or In_Fbk_Open) then
```

```
        if Press_IN > 0.1 then
```

```
            if Press_OUT < Press_IN then Press_OUT := Press_OUT + 0.2; end_if;
```

```
        else
```

```
            if Press_OUT < 14.0 then Press_OUT := Press_OUT + 0.2; end_if;
```

```
        end_if;
```

```
    end_if;
```

```
    if T_Fast.Q and (Out_Cmd_Close or In_Fbk_Close) and not In_Sim_Shock then
```

```
        if Press_OUT > 0.0 then
```

```
            Press_OUT := Press_OUT - 0.2;
```

```
        end_if;
```

```
    end_if;
```

```
else
```

```
    if T_Fast.Q and (Press_OUT > 0.0) then Press_OUT := Press_OUT - 0.5; end_if;
```

```
end_if;
```

```
if Press_OUT < 0.0 then Press_OUT := 0.0; end_if;
```

```
if (Press_IN > 0.1) and (Press_OUT > Press_IN) then
```

```

    Press_OUT := Press_IN;
end_if;

if Press_OUT >= 13.5 then Alarm_State := 1;
elsif Press_OUT < 12.5 then Alarm_State := 0; end_if;

if Alarm_State then

    Out_Cmd_Open := 0; Out_Cmd_Close := 1;

elsif In_Local then

    if In_Open and In_Close then Out_Cmd_Open := 0; Out_Cmd_Close := 0;
    elsif In_Open and not In_Fbk_Open then Out_Cmd_Open := 1; Out_Cmd_Close := 0;
    elsif In_Close and not In_Fbk_Close then Out_Cmd_Close := 1; Out_Cmd_Open := 0;
    else Out_Cmd_Open := 0; Out_Cmd_Close := 0; end_if;

else

    if Press_OUT < (In_SP - In_Deadband) then Out_Cmd_Open := 1; Out_Cmd_Close := 0;
    elsif Press_OUT > (In_SP + In_Deadband) then Out_Cmd_Open := 0; Out_Cmd_Close := 1;
    else Out_Cmd_Open := 0; Out_Cmd_Close := 0; end_if;
end_if;

if Out_Cmd_Open and Out_Cmd_Close then
    Out_Cmd_Open := 0;
    Out_Cmd_Close := 0;
end_if;

if In_Fbk_Open then Out_Cmd_Open := 0; end_if;
if In_Fbk_Close then Out_Cmd_Close := 0; end_if;

L_Open := In_Fbk_Open;
L_Close := In_Fbk_Close;

if Alarm_State then
    L_Alarm := Blink_S;
else
    L_Alarm := 0;
end_if;

if (Out_Cmd_Open or Out_Cmd_Close) then
    L_Move := Blink_F;
else
    L_Move := 0;
end_if;

```