

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

Костюк Юрій Геннадійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.515:697.922

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення автоматизованої системи управління припливно-витяжною установкою на базі контролера Simatic S7-1200

(назва роботи)

Системна інженерія – інтернет речей

(назва освітньої програми)

151-Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

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

Здобувач освітнього ступеня _____ **Ю.Г. Костюк**
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ **Николайчук Микола Ярославович, к.т.н., доцент**
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
В.о. завідувача кафедри

_____ **Заміховська О.Л.**
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 151-Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ІТТС

к.т.н., доцент

_____ **О.Л. Заміховська**

« _____ » _____ 2026 року

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Костюку Юрію Геннадійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення автоматизованої системи управління припливно-вигляжною установкою на базі контролера Simatic S7-1200

керівник роботи _____ **Николайчук Микола Ярославович, к.т.н., доцент**

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від " 7 " квітня 2026 року № 164/7

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Матеріали та результати отримані під час проходження переддипломної практики, технічні вимоги, методичні вказівки.

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

Порівняльний аналіз існуючих систем управління

Вибір апаратних технологій та середовища розробки

Розробка апаратної частини

Розробка програмної частини

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

Структурна схема

Функціональна схема

Результати розробки

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання Етапів роботи	Примітка
1	Порівняльний аналіз існуючих систем телеметрії	02.03.2026-25.03.2026	Виконано
2	Вибір середовища розробки і основних вузлів управління	04.04.2026-15.04.2026	Виконано
3	Розробка апаратної частини і схеми управління	20.04.2026-01.05.2026	Виконано
4	Оформлення результатів роботи	13.05.2026-02.06.2026	Виконано

Студент

(підпис)

Костюк Ю.Г.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Николайчук М.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 120 сторінок, 51 рисуноків, 3 таблиці, 30 посилань.

Об'єктом дослідження є припливно-витяжна вентиляційна установка як об'єкт автоматизації із сукупністю технологічних параметрів, що підлягають контролю та регулюванню.

Мета роботи – розроблення автоматизованої системи управління припливно-витяжною установкою на базі контролера Simatic S7-1200, що включає апаратну конфігурацію системи, схему електричну принципову, програмне забезпечення контролера в середовищі TIA Portal та людино-машинний інтерфейс на панелі оператора KTP400 Basic PN.

У першому розділі проведено аналіз предметної області: розглянуто призначення та принцип роботи припливно-витяжних установок, виконано огляд сучасних систем автоматизації вентиляції та порівняльний аналіз контролерів провідних виробників.

У другому розділі розроблено автоматизовану систему управління припливно-витяжною установкою. Виконано технологічний опис об'єкта автоматизації, розроблено функціональну схему АСУ. Здійснено вибір та обґрунтування засобів автоматизації - датчиків температури Siemens, датчиків вологості, а також виконавчих механізмів на базі частотних перетворювачів та сервоприводів. Виконано конфігурування апаратної частини контролера CPU 1215C в середовищі TIA Portal. Розроблено схему електричну схему.

У третьому розділі розроблено програмне забезпечення контролера мовою LAD в середовищі TIA Portal. Реалізовано п'ять контурів ПД-регулювання для підтримання температури припливного повітря, захисту калориферів від замерзання та управління рециркуляцією. Розроблено людино-машинний інтерфейс на панелі KTP400 з вікнами відображення параметрів.

ПРИПЛИВНО-ВИТЯЖНА ВЕНТИЛЯЦІЯ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, SIMATIC S7-1200, TIA PORTAL, ПД-РЕГУЛЮВАННЯ, ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ, АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ.

ABSTRACT

Calculation and explanatory note: 120 pages, 51 figures, 3 tables, 30 references.

The object of the study is a supply and exhaust ventilation unit as an automation object with a set of technological parameters subject to control and regulation.

The purpose of the work is to develop an automated supply and exhaust ventilation unit control system based on the Simatic S7-1200 controller, which includes the system hardware configuration, electrical schematic diagram, controller software in the TIA Portal environment and a human-machine interface on the KTP400 Basic PN operator panel.

The first section analyzes the subject area: the purpose and principle of operation of supply and exhaust ventilation units are considered, a review of modern ventilation automation systems and a comparative analysis of controllers from leading manufacturers are performed.

In the second section, an automated supply and exhaust ventilation unit control system is developed. A technological description of the automation object has been completed, a functional diagram of the ACS has been developed. The selection and justification of automation means - Siemens temperature sensors, humidity sensors, as well as actuators based on frequency converters and servo drives - has been carried out. The hardware part of the CPU 1215C controller has been configured in the TIA Portal environment. An electrical diagram has been developed.

In the third section, the controller software has been developed in the LAD language in the TIA Portal environment. Five PID control loops have been implemented to maintain the supply air temperature, protect the heaters from freezing, and control recirculation. A human-machine interface has been developed on the KTP400 panel with parameter display windows.

SUPPLY AND EXHAUST VENTILATION, AUTOMATED CONTROL SYSTEM, SIMATIC S7-1200, TIA PORTAL, SUB-REGULATION, TEMPERATURE SENSOR, CONTROL ALGORITHM.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	с. 7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	12
1.1 Призначення та принцип роботи припливно-витяжних установок	12
1.2 Огляд сучасних систем автоматизації вентиляції	18
1.3 Порівняльний аналіз контролерів для автоматизації СВ	22
1.4 Обґрунтування вибору контролера Simatic S7-1200	28
1.5 Постановка задачі	31
2 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ...	33
2.1 Технологічний опис об'єкта автоматизації	33
2.2 Функціональна схема АСУ	38
2.3 Вибір та обґрунтування засобів автоматизації.....	41
2.4 Конфігурування контролера Simatic S7-1200 та модулів розширення ..	50
2.5 Розроблення схеми електричної принципової та схеми підключення ..	56
2.6 Проектування щита управління	63
2.7 Розроблення алгоритмів управління установкою	65
3 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	69
3.1 Середовище програмування TIA Portal	69
3.2 Програмування контролера мовою LAD	73
3.3 Реалізація ПІД-регулювання температури	83
3.4 Розроблення людино-машинного інтерфейсу (HMI)	89
3.5 Симуляція та налагодження системи	94
ВИСНОВКИ	99
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА	102
БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА	105
ДОДАТОК	106

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Костюк				Розроблення автоматизованої системи управління припливно-витяжною установкою на базі контролера Simatic S7-1200	Лім.	Арк.	Аркуші
Перев.	Николайчук						5	120
						ІФНТУНГ <i>ар.СІ-22-1</i>		
Н. контр.	Возний							
Затв.	Заміховська							

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АСУ	—	автоматизована система управління
АСУ ТП	—	автоматизована система управління технологічним процесом
ВА	—	вентиляторний агрегат
САК	—	система автоматичного керування
СВ	—	система вентиляції
ПЛК	—	програмований логічний контролер

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Забезпечення комфортного мікроклімату у виробничих, громадських та житлових приміщеннях є одним із ключових завдань сучасного будівництва та інженерії. Якість повітряного середовища безпосередньо впливає на здоров'я, працездатність та самопочуття людей, що перебувають у приміщенні. Недостатній повітрообмін призводить до накопичення вуглекислого газу, підвищення вологості, появи неприємних запахів та розповсюдження шкідливих мікроорганізмів. Саме тому питання організації ефективної вентиляції набуває особливої важливості як у промисловому, так і в цивільному будівництві [1,2].

Важливу роль у вирішенні цього завдання відіграють припливно-витяжні вентиляційні установки, які забезпечують подачу свіжого повітря, видалення забрудненого, а також підтримання заданих параметрів температури та вологості. Сучасні припливно-витяжні установки є складними інженерними комплексами, до складу яких входять вентилятори, теплообмінники, фільтри, засувки, рекуператори теплоти та інші елементи. Ефективна робота такого обладнання неможлива без чітко налагодженої системи автоматичного управління, здатної в реальному часі реагувати на зміни зовнішніх умов та вимог до мікроклімату.

Традиційні системи керування вентиляційним обладнанням, побудовані на релейно-контакторній елементній базі, поступово втрачають свою актуальність через низьку гнучкість, складність налагодження та обмежені можливості моніторингу. Такі системи важко адаптувати до змінних умов експлуатації, вони потребують значних витрат на технічне обслуговування та не дозволяють реалізувати енергоощадні режими роботи. Крім того, відсутність можливості дистанційного контролю суттєво ускладнює

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

оперативне реагування на аварійні ситуації та відхилення технологічних параметрів від заданих значень.

Натомість широкого поширення набувають автоматизовані системи управління (АСУ) на базі програмованих логічних контролерів (ПЛК), які дозволяють реалізувати складні алгоритми регулювання, забезпечити дистанційний контроль та інтеграцію з системами диспетчеризації будівлі. Застосування ПЛК дає змогу значно підвищити точність підтримання заданих параметрів мікроклімату, скоротити споживання електроенергії завдяки реалізації оптимальних режимів роботи, а також забезпечити надійний захист обладнання від аварійних ситуацій. Сучасні ПЛК підтримують широкий спектр комунікаційних протоколів, що дозволяє інтегрувати вентиляційну установку до загальної системи автоматизації будівлі (BAS) або диспетчерського управління [3, 4].

Одним із провідних рішень у цій галузі є контролер Simatic S7-1200 виробництва компанії Siemens (Німеччина) – одного зі світових лідерів у галузі промислової автоматизації. Контролер поєднує компактність, високу надійність, широкі комунікаційні можливості та зручне середовище програмування TIA Portal. Завдяки модульній архітектурі Simatic S7-1200 легко масштабується відповідно до потреб конкретного об'єкта автоматизації – від невеликих вентиляційних установок до розгалужених систем кліматизації великих будівель. Вбудований інтерфейс PROFINET забезпечує безпроблемну інтеграцію з панелями оператора серії SIMATIC HMI, частотними перетворювачами та іншими польовими пристроями.

Застосування контролера Simatic S7-1200 у системах автоматизації вентиляції дозволяє реалізувати ПІД-регулювання температури припливного повітря, автоматичне керування засувками та частотними перетворювачами вентиляторів, контроль стану фільтрів та захист від обмерзання теплообмінника. Середовище програмування TIA Portal надає інженеру зручні інструменти для розроблення програмного забезпечення мовами стандарту

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

МЕК 61131-3, налагодження алгоритмів управління в режимі онлайн, а також створення наочного людино-машинного інтерфейсу. Все це суттєво скорочує терміни введення системи в експлуатацію та спрощує її подальше обслуговування [5].

Актуальність роботи обумовлена зростаючими вимогами до енергоефективності інженерних систем будівель, необхідністю підвищення рівня автоматизації вентиляційного обладнання та доцільністю впровадження сучасних ПЛК-рішень замість застарілих засобів керування. В умовах постійного зростання вартості енергоносіїв питання оптимізації роботи вентиляційних систем набуває особливої економічної ваги. Крім того, сучасні будівельні норми та стандарти висувають дедалі жорсткіші вимоги до параметрів мікроклімату, що робить впровадження інтелектуальних систем автоматизації вентиляції нагальною необхідністю.

Мета роботи – розроблення автоматизованої системи управління припливно-витяжною установкою на базі контролера Simatic S7-1200 із забезпеченням автоматичного регулювання параметрів мікроклімату, розробленням апаратної конфігурації системи та програмного забезпечення в середовищі TIA Portal, а також верифікацією розробленого рішення шляхом симуляції та налагодження.

Об'єкт дослідження – припливно-витяжна вентиляційна установка як об'єкт автоматизації із сукупністю технологічних параметрів, що підлягають контролю та регулюванню.

Предмет дослідження – методи, алгоритми та засоби автоматизованого управління припливно-витяжною установкою на базі програмованого логічного контролера Simatic S7-1200.

Практичне значення роботи полягає у розробленні комплексного технічного та програмного рішення АСУ припливно-витяжною установкою, яке може бути впроваджене на реальному об'єкті. Розроблена система забезпечує автоматичне підтримання заданих параметрів мікроклімату, захист

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

обладнання від аварійних режимів роботи, зручний оперативний контроль і управління через НМІ-панель, а також потенціал для інтеграції із загальною системою автоматизації будівлі. Результати роботи можуть бути використані проектними організаціями та підприємствами, що займаються розробленням і впровадженням систем автоматизації інженерних мереж будівель.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Призначення та принцип роботи припливно-витяжних установок

Припливно-витяжна вентиляційна установка (ПВУ) – це інженерний пристрій, призначений для організованого повітрообміну в приміщенні шляхом одночасної подачі свіжого зовнішнього повітря та видалення відпрацьованого. На відміну від природної вентиляції, яка залежить від різниці тисків та температур, припливно-витяжні установки забезпечують примусовий та керований повітрообмін незалежно від погодних умов, що гарантує стабільне підтримання нормованих параметрів мікроклімату протягом усього року.

Основним призначенням ПВУ є забезпечення нормованого повітрообміну відповідно до санітарно-гігієнічних вимог, підтримання заданої температури припливного повітря, фільтрація зовнішнього повітря від пилу та забруднень, а також рекуперація теплоти витяжного повітря з метою підвищення енергоефективності системи. Залежно від призначення об'єкта та вимог до мікроклімату, ПВУ можуть також виконувати функції зволоження, осушення та охолодження повітря [6, 7].

Конструктивний склад припливно-витяжної установки

Типова припливно-витяжна установка складається з таких основних елементів:

Припливний та витяжний вентилятори є основними виконавчими механізмами установки. Вони забезпечують примусове переміщення повітряних мас у системі повітроводів. Як правило, застосовуються відцентрові або осьові вентилятори з електродвигунами, оснащеними

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

частотними перетворювачами для плавного регулювання продуктивності. Регулювання швидкості обертання вентиляторів дозволяє оптимізувати витрату повітря відповідно до поточних потреб і суттєво знизити споживання електроенергії.

Повітряні фільтри призначені для очищення зовнішнього повітря від механічних частинок — пилу, пилку рослин, комах тощо. Залежно від вимог до чистоти повітря застосовуються фільтри різних класів: від грубої очистки (G3–G4) до тонкої (F7–F9) та абсолютної (HEPA). В процесі експлуатації фільтри поступово забруднюються, що призводить до зростання аеродинамічного опору і зниження продуктивності установки. Для контролю стану фільтрів застосовуються датчики перепаду тиску, сигнал яких використовується системою управління для формування сигналу про необхідність заміни або очищення.

Рекуператор теплоти — теплообмінний апарат, в якому відпрацьоване витяжне повітря віддає частину своєї теплоти свіжому припливному повітрю без їх безпосереднього змішування. Застосування рекуперації дозволяє суттєво знизити витрати на підігрів зовнішнього повітря в холодну пору року. Найбільш поширеними типами рекуператорів є пластинчасті перехресноточні та роторні. Ефективність рекуперації сучасних установок досягає 70–90%, що робить їх обов'язковим елементом енергоефективних вентиляційних систем.

Калорифер (нагрівач) призначений для підігріву припливного повітря до заданої температури. Залежно від наявних енергоносіїв застосовуються електричні або водяні калорифери. Водяні калорифери підключаються до системи централізованого тепlopостачання або котельні та мають вищу енергетичну ефективність порівняно з електричними. Для захисту водяного калорифера від замерзання в холодну пору року система управління контролює температуру теплоносія та температуру повітря після калорифера, вживаючи відповідних заходів при критичному зниженні цих показників.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Повітряні клапани та засувки встановлюються на припливному та витяжному патрубках установки і призначені для перекриття повітряних каналів при зупинці вентилятора, а також для регулювання витрати повітря. Як правило, застосовуються клапани з електроприводом, керованим від системи автоматики. При аварійній зупинці установки клапани автоматично закриваються для запобігання проникненню холодного зовнішнього повітря в приміщення.

Шумоглушники встановлюються на вході та виході повітряних потоків для зниження аеродинамічного шуму, що генерується вентиляторами. Вони є обов'язковим елементом установок, що монтуються в житлових та громадських будівлях.

Принцип роботи припливно-витяжної установки

Принцип роботи ПВУ полягає в організації двох зустрічних потоків повітря. Припливний вентилятор забирає зовнішнє повітря через повітрозабірну решітку, пропускає його крізь фільтр грубої та тонкої очистки, далі через рекуператор, де воно попередньо підігрівається теплотою витяжного потоку, після чого повітря догрівається до заданої температури в калорифері та подається у вентильовані приміщення через мережу припливних повітроводів і розподільних пристроїв.

Одночасно витяжний вентилятор видаляє відпрацьоване повітря з приміщень через мережу витяжних повітроводів, пропускає його через рекуператор, де воно віддає частину теплоти припливному потоку, після чого викидає його назовні через викидну решітку.

Система управління безперервно контролює температуру припливного та витяжного повітря, перепад тиску на фільтрах, положення повітряних клапанів та інші технологічні параметри, забезпечуючи автоматичне регулювання роботи всіх виконавчих механізмів відповідно до заданого алгоритму.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Режими роботи припливно-витяжної установки

У процесі експлуатації ПВУ може функціонувати в кількох режимах:

Автоматичний режим – основний режим роботи, при якому система управління самостійно підтримує задані параметри мікроклімату, регулюючи продуктивність вентиляторів та потужність калорифера відповідно до поточних умов.

Ручний режим – режим, при якому оператор вручну задає параметри роботи окремих виконавчих механізмів через панель управління або НМІ-інтерфейс. Використовується під час пусконаладжувальних робіт та технічного обслуговування.

Нічний (економічний) режим – режим зниженої продуктивності, що активується в нічний час або при відсутності людей у приміщенні з метою економії електроенергії.

Аварійний режим – режим, що активується при виникненні несправностей або відхиленні контрольованих параметрів за допустимі межі. Передбачає автоматичне відключення установки, закриття повітряних клапанів та формування аварійного сигналу для оперативного персоналу.

Нормативні вимоги до параметрів мікроклімату

Параметри мікроклімату, що підтримуються системою вентиляції, регламентуються відповідними державними будівельними нормами та санітарними правилами. Зокрема, для житлових приміщень нормується температура повітря в діапазоні 18-22 °С у холодний період та 22-25 °С у теплий, відносна вологість 40-60%, а також мінімальна витрата свіжого повітря на одну людину не менше 30 м³/год. Для виробничих та громадських приміщень нормативні вимоги визначаються залежно від категорії робіт та призначення приміщення. Дотримання цих вимог є обов'язковою умовою при проектуванні та експлуатації систем вентиляції, а автоматизована система управління відіграє ключову роль у їх забезпеченні.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Телеметрія (від грецьких слів «tele» - далеко та «metron» - вимірювання) – це технологія автоматизованого збору вимірювальної інформації про стан об'єкта або процесу та її передачі на відстань до пункту прийому й обробки. Поняття телеметрії охоплює весь ланцюжок перетворень - від первинного вимірювання фізичної величини датчиком до представлення результату у зручному для аналізу вигляді на стороні споживача інформації. Таким чином, телеметрична система є комплексним рішенням, що включає в себе вимірювальні перетворювачі, засоби первинної обробки сигналів, канал передачі даних та програмне забезпечення для прийому, зберігання і відображення телеметричної інформації.

Історично поняття телеметрії виникло у зв'язку з потребою здійснювати вимірювання на об'єктах, доступ до яких був фізично ускладнений або неможливий. Перші телеметричні системи з'явилися у кінці XIX – на початку XX століття і використовувались переважно в метеорології та енергетиці. Значного поштовху розвиток телеметрії набув у середині XX століття в рамках космічних програм, коли виникла необхідність отримувати в реальному часі дані про стан бортових систем ракет та супутників. Саме космічна галузь сформувала основні вимоги до телеметричних систем: висока надійність, мінімальне енергоспоживання, завадостійкість каналу зв'язку та здатність до роботи в умовах динамічного середовища. Згодом ці принципи були перенесені в промисловість, транспорт, медицину та багато інших галузей.

У сучасному розумінні телеметрія є невід'ємною складовою автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСКТП), систем диспетчерського керування та збору даних (SCADA), а також розподілених систем моніторингу на базі концепції інтернету речей (IoT). Вона дозволяє в режимі реального часу отримувати актуальну інформацію про стан обладнання, технологічних параметрів або навколишнього середовища, що є необхідною умовою для прийняття своєчасних і обґрунтованих управлінських рішень. Відсутність або затримка телеметричної інформації в

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

автоматизованих системах може призводити до виникнення аварійних ситуацій, зниження якості продукції або суттєвих економічних збитків.

Структурно будь-яка система телеметрії складається з трьох основних функціональних блоків. Перший блок – вимірювальний, що включає датчики фізичних величин (температури, тиску, вологості, прискорення, напруги, струму тощо) та аналого-цифрові перетворювачі для оцифрування аналогових сигналів. Другий блок – передавальний, що забезпечує формування пакетів даних та їх передачу по каналу зв'язку – провідному або бездротовому. Третій блок – приймальний, що здійснює прийом, декодування, зберігання та відображення телеметричних даних у зручному для оператора або автоматизованої системи вигляді. У сучасних реалізаціях ці блоки можуть бути реалізовані як на окремих апаратних платформах, так і інтегровані в єдиний мікроконтролерний вузол.

Застосування телеметричних систем у галузі промислової автоматизації є надзвичайно широким. У нафтогазовій промисловості телеметрія використовується для моніторингу стану свердловин, трубопроводів та насосних станцій у режимі реального часу. В енергетиці телеметричні системи забезпечують збір даних з розподілених підстанцій, лічильників електроенергії та елементів розумних електромереж (Smart Grid). У виробничих процесах телеметрія дозволяє контролювати параметри технологічних ліній, своєчасно виявляти відхилення від норми та запобігати поломкам обладнання завдяки системам прогностичного технічного обслуговування. Широко застосовується телеметрія і в робототехніці – для передачі даних про стан приводів, датчиків та навігаційних систем мобільних роботів до пульта оператора або центральної системи керування.

У медицині телеметричні системи застосовуються для дистанційного моніторингу стану пацієнтів – реєстрації електрокардіограми, рівня насичення крові киснем, артеріального тиску та інших фізіологічних параметрів без прив'язки пацієнта до стаціонарного обладнання. Це дозволяє суттєво

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

підвищити комфорт пацієнта та якість медичної допомоги, а також знизити навантаження на медичний персонал. У сільському господарстві системи телеметрії використовуються для моніторингу мікроклімату в теплицях, вологості ґрунту на полях, стану сільськогосподарської техніки та умов зберігання зерна. Телематичні системи на транспорті дозволяють відстежувати місцезнаходження, швидкість, витрату пального та технічний стан транспортних засобів у режимі реального часу, що є основою сучасних систем управління автопарком та логістикою.

Важливою тенденцією останніх років є інтеграція телеметричних систем у концепцію інтернету речей та промислового інтернету речей (IIoT). В рамках цієї концепції окремі телеметричні вузли об'єднуються у розподілені мережі, де кожен пристрій може як збирати дані, так і передавати їх до хмарних платформ для подальшого аналізу з використанням методів машинного навчання та великих даних. Бездротові технології передачі даних відіграють ключову роль у побудові таких мереж, оскільки дозволяють підключати до системи моніторингу об'єкти, розташовані у важкодоступних місцях або такі, що постійно переміщуються в просторі.

Таким чином, телеметрія є фундаментальною технологією сучасної автоматизації, що забезпечує інформаційний зв'язок між фізичним об'єктом керування та системою прийняття рішень. Ефективність автоматизованої системи в цілому значною мірою визначається якістю та своєчасністю телеметричної інформації, що надходить від польових пристроїв. Саме тому розроблення надійних, економічних та функціонально розвинених систем телеметрії залишається актуальним науково-технічним завданням, а вибір оптимальної технології бездротової передачі даних є одним із ключових етапів проектування таких систем.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.2 Огляд сучасних систем автоматизації вентиляції

Сучасний ринок систем автоматизації вентиляції пропонує широкий спектр рішень – від простих локальних контролерів з фіксованим набором функцій до складних інтегрованих систем управління будівлею (Building Automation System, BAS), що охоплюють усі інженерні підсистеми об'єкта. Вибір конкретного рішення визначається масштабом об'єкта, вимогами до функціональності, бюджетом проекту та необхідністю інтеграції з іншими системами [7, 8].

Класифікація систем автоматизації вентиляції

За рівнем інтеграції та функціональністю системи автоматизації вентиляції поділяються на кілька основних класів.

Вбудовані контролери вентиляційних установок – найпростіший клас систем, що являють собою спеціалізовані мікропроцесорні блоки управління, інтегровані безпосередньо у вентиляційну установку виробником. Такі контролери мають фіксований набір функцій, оптимізованих для керування конкретною моделлю установки. Вони прості у налаштуванні, але мають обмежені можливості адаптації до нестандартних вимог замовника та слабкі засоби інтеграції із зовнішніми системами. Прикладами таких рішень є вбудовані контролери установок Systemair, Salda, Vents та інших виробників вентиляційного обладнання.

Спеціалізовані контролери для систем ОВК – окремий клас програмованих контролерів, розроблених спеціально для застосування в системах опалення, вентиляції та кондиціонування (ОВК). Вони мають попередньо налаштовані функціональні блоки для типових задач автоматизації вентиляції, підтримують стандартні комунікаційні протоколи BACnet, Modbus, KNX та мають зручні інструменти конфігурування без необхідності програмування. До цього класу належать контролери Siemens Climatix, Honeywell EXCEL, Sauter EY-modulo, Johnson Controls Metasys.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Універсальні програмовані логічні контролери (ПЛК) – багатофункціональні промислові контролери загального призначення, що програмуються відповідно до конкретних вимог об'єкта. Вони забезпечують максимальну гнучкість при реалізації алгоритмів управління, підтримують широкий спектр комунікаційних інтерфейсів та дозволяють інтегрувати управління вентиляцією з іншими технологічними процесами. До цього класу належать контролери Siemens Simatic S7, Schneider Electric Modicon, Allen-Bradley ControlLogix, ОВЕН ПЛК та інші.

Системи автоматизації будівлі (BAS/BMS) – комплексні рішення для централізованого управління всіма інженерними системами будівлі: вентиляцією, опаленням, кондиціонуванням, освітленням, електропостачанням, безпекою тощо. Вони базуються на ієрархічній архітектурі з польовим, управляючим та диспетчерським рівнями та використовують стандартизовані відкриті протоколи для обміну даними між підсистемами. Провідними постачальниками таких рішень є Siemens (Desigo CC), Honeywell (EBI), Johnson Controls (Metasys), Schneider Electric (EcoStruxure).

Огляд провідних рішень для автоматизації вентиляції

Siemens Climatix – спеціалізована лінійка контролерів для систем ОВК від компанії Siemens. Контролери серії Climatix IC та Climatix Plus мають вбудовану бібліотеку функціональних блоків для управління типовими вентиляційними установками, підтримують протоколи BACnet IP/MSTP, Modbus RTU/TCP та LonWorks. Середовище програмування Climatix Tool забезпечує графічне конфігурування системи без необхідності написання програмного коду. Перевагою є швидке введення в експлуатацію завдяки готовим шаблонам для стандартних конфігурацій вентиляційних систем.

Honeywell EXCEL 800 – серія контролерів для управління системами ОВК у великих комерційних будівлях. Контролери підтримують протоколи BACnet та LON, мають розвинені функції енергоменеджменту та інтегруються

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

з системою диспетчеризації Honeywell EBI. Відрізняються високою надійністю та широким досвідом застосування на об'єктах різного призначення.

Sauter EY-modulo 5 – сучасна серія контролерів швейцарської компанії Sauter, орієнтована на застосування в системах автоматизації будівель класу А та В. Контролери мають модульну архітектуру, підтримують протоколи BACnet, Modbus та KNX, а середовище програмування CASE Engine забезпечує зручне графічне конфігурування. Особливістю є висока енергоефективність та підтримка хмарних сервісів для дистанційного моніторингу.

Раут Автоматик – серія українських програмованих контролерів, що широко застосовуються в системах автоматизації вентиляції на об'єктах України. Контролери програмуються в середовищі Qubix, підтримують протоколи Modbus RTU/TCP та мають широкий вибір модулів розширення вітчизняного виробництва. Перевагою є доступна ціна, наявність технічної підтримки та документації українською мовою.

Тенденції розвитку систем автоматизації вентиляції

Сучасний розвиток систем автоматизації вентиляції визначається кількома ключовими тенденціями.

Першою з них є інтеграція з концепцією Інтернету речей (IoT) та хмарними платформами, що дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг і управління вентиляційними системами через мережу Інтернет, накопичувати та аналізувати великі масиви даних про роботу обладнання, а також реалізовувати предиктивне технічне обслуговування на основі аналізу трендів.

Другою тенденцією є впровадження алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання для оптимізації роботи вентиляційних систем. Такі алгоритми дозволяють прогнозувати зміни навантаження, адаптувати режими роботи установки до реальних умов експлуатації та мінімізувати споживання енергії при забезпеченні нормованих параметрів мікроклімату [9].

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Третьою тенденцією є розширення застосування бездротових технологій передачі даних – ZigBee, Z-Wave, LoRaWAN – для підключення польових пристроїв, що спрощує монтаж систем автоматизації та знижує вартість кабельної інфраструктури.

Четвертою тенденцією є підвищення вимог до кібербезпеки систем автоматизації будівель у зв'язку з їх зростаючою підключеністю до мереж передачі даних. Сучасні контролери та програмне забезпечення реалізують засоби шифрування даних, автентифікації користувачів та захисту від несанкціонованого доступу.

Таким чином, сучасний ринок пропонує широкий спектр рішень для автоматизації припливно-витяжних установок – від спеціалізованих контролерів ОВК до універсальних ПЛК та інтегрованих систем автоматизації будівель. Кожне з цих рішень має свої переваги та обмеження, що визначають доцільність їх застосування залежно від конкретних умов проекту.

1.3 Порівняльний аналіз контролерів для автоматизації вентиляційних систем

Вибір контролера є одним із ключових рішень при проектуванні автоматизованої системи управління припливно-витяжною установкою. На сучасному ринку представлено широкий спектр рішень від провідних світових та вітчизняних виробників. У даному підрозділі виконано порівняльний аналіз чотирьох контролерів, що є найбільш поширеними у системах автоматизації вентиляції: Siemens Simatic S7-1200, Schneider Electric Modicon M221, Honeywell EXCEL 800 та PAUT-Автоматик MaxyCon Flexy-S2-B1.

Siemens Simatic S7-1200

Контролер Simatic S7-1200 є компактним універсальним ПЛК виробництва компанії Siemens, орієнтованим на застосування в системах

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

автоматизації малого та середнього масштабу. Базовий модуль CPU 1214C має у своєму складі 14 дискретних входів, 10 дискретних виходів, 2 аналогові входи та підтримує підключення до 8 модулів розширення сигналів, що забезпечує широкі можливості нарощування конфігурації, рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд контролера Simatic S7-1200

Вбудований інтерфейс PROFINET дозволяє підключати панелі оператора серії SIMATIC HMI, частотні перетворювачі та інші польові пристрої без додаткових шлюзів. Програмування здійснюється в середовищі TIA Portal мовами стандарту MEK 61131-3 — LAD, FBD та SCL. Вбудовані технологічні функції включають ПД-регулятори, лічильники швидких імпульсів та функції руху. Контролер підтримує комунікаційні протоколи PROFINET, Modbus TCP/RTU та AS-i [7].

Schneider Electric Modicon M221

Контролер Modicon M221 є компактним ПЛК початкового рівня від компанії Schneider Electric, що позиціонується як рішення для нескладних задач автоматизації. Базовий модуль має від 10 до 24 дискретних входів/виходів залежно від модифікації та підтримує до 7 модулів розширення, рис. 1.2.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд контролера Schneider Electric Modicon

Вбудований інтерфейс Ethernet дозволяє підключатися до мережі та взаємодіяти з системами SCADA. Програмування здійснюється в середовищі EcoStruxure Machine Expert Basic, яке підтримує мови IL, LD та Grafset. Контролер підтримує протоколи Modbus TCP/RTU та Ethernet IP. Порівняно з Simatic S7-1200, Modicon M221 має менший обсяг вбудованої пам'яті та обмеженіші можливості реалізації складних алгоритмів регулювання, що є суттєвим недоліком при автоматизації вентиляційних установок з багатоконтурним регулюванням [9].

Honeywell EXCEL 800

Контролер EXCEL 800 є спеціалізованим рішенням компанії Honeywell для систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря у великих комерційних будівлях, рис. 1.3. На відміну від універсальних ПЛК, він має попередньо налаштовані функціональні блоки для типових задач автоматизації ОВК, що суттєво скорочує час налагодження системи. Підтримує комунікаційні протоколи BACnet та LON, що забезпечує безпроблемну інтеграцію до систем автоматизації будівлі. Разом із тим контролер має вищу вартість порівняно з універсальними ПЛК, а його налагодження вимагає спеціалізованого програмного забезпечення та досвіду роботи з продуктами

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Honeywell. Це робить його застосування доцільним переважно на великих об'єктах, де вже використовується екосистема обладнання даного виробника.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд контролера Honeywell EXCEL 800

РАУТ-Автоматик МахуCon Flexy-S2-B1

Контролер МахуCon Flexy-S2-B1 є вільно програмованим контролером українського виробника РАУТ-Автоматик – 100% вітчизняного виробника мікропроцесорних засобів і програмних продуктів в галузі автоматизації та управління. Контролер призначений для управління будь-якими технологічними процесами або установками за записаною користувачем програмою та має у своєму складі 14 універсальних аналогових/дискретних входів, 6 універсальних аналогових виходів або дискретних входів та 10 дискретних безпотенційних релейних виходів [10].

Програмування контролера здійснюється у середовищі розробки RAUT Qubix з використанням стандартних мов програмування FBD/CFC та ST за стандартом IEC 61131-3. Контролер підтримує передачу даних по протоколах

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

RS-485 (Modbus RTU Master/Slave), Ethernet (Modbus TCP Master/Slave), а також протокол MQTT для застосування в системах Інтернету речей (IoT).



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд контролера MaхуСon Flexу-S2-B1

Модульна архітектура контролера дозволяє у максимальній конфігурації підключити до базового модуля 8 модулів розширення різних типів по внутрішній шині. Для відображення інформації та оперативного управління передбачено підключення виносної панелі S2-Monitor з кольоровим графічним дисплеєм 2,4". Контролер також підтримує функцію ПІД-регулювання та розвинені можливості архівування даних у внутрішній пам'яті та на Flash-карті [10].

Перевагою MaхуСon Flexу-S2-B1 є українське виробництво, доступна ціна та наявність технічної підтримки від вітчизняного виробника. Разом із тим середовище програмування RAUT Qubix є менш поширеним порівняно з TIA Portal, що може ускладнити пошук кваліфікованих спеціалістів для обслуговування системи.

В таблиці 1.1 представлено узагальнений порівняльний аналіз розглянутих контролерів.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 1.1 - Порівняльна таблиця контролерів

Характеристика	Simatic S7-1200	Modicon M221	EXCEL 800	MaxyCon Flexy-S2-B1
Виробник	Siemens (Німеччина)	Schneider Electric (Франція)	Honeywell (США)	РАУТ-Автоматик (Україна)
Призначення	універсальний	універсальний	спеціалізований	універсальний
Середовище програмування	TIA Portal	EcoStruxure Machine Expert	CARE	RAUT Qubix
Мови програмування (МЕК 61131-3)	LAD, FBD, SCL, STL	IL, LD, Grafcet	графічне конфігурування	FBD/CFC, ST
Вбудовані входи/виходи	14DI/10DO/2AI	10–24 DI/DO	залежно від конфігурації	14UI/6UO/10DO
Модулі розширення	до 8	до 7	так	до 8
Комунікаційні протоколи	PROFINET, Modbus TCP/RTU	Modbus TCP/RTU, Ethernet IP	BACnet, LON	Modbus RTU/TCP, MQTT
Підтримка ПІД-регулювання	так	обмежена	так	так
Вбудований веб-сервер	ні	ні	ні	так
Підтримка IoT/MQTT	через додаткові модулі	ні	ні	так (вбудований)
Рівень поширеності	дуже високий	високий	середній	середній
Вартість	середня	низька	висока	низька

Проведений порівняльний аналіз показує, що кожен із розглянутих контролерів має свої переваги та обмеження. Контролер Simatic S7-1200 вирізняється найширшими функціональними можливостями, розвиненою екосистемою програмного забезпечення та периферійних пристроїв, а також найбільшою поширеністю серед спеціалістів із промислової автоматизації.

Детальне обґрунтування вибору контролера Simatic S7-1200 як основи для розроблюваної АСУ наведено в наступному підрозділі.

1.4 Обґрунтування вибору контролера Simatic S7-1200

Результати порівняльного аналізу, виконаного у попередньому підрозділі, демонструють, що контролер Simatic S7-1200 є найбільш доцільним вибором для реалізації автоматизованої системи управління припливно-витяжною установкою. Нижче наведено детальне обґрунтування цього вибору за ключовими критеріями.

Функціональні можливості

Simatic S7-1200 забезпечує повний набір функцій, необхідних для автоматизації припливно-витяжної установки. Вбудовані технологічні об'єкти PID_Compact та PID_3Step дозволяють реалізувати багатоконтурне ПД-регулювання температури припливного повітря без необхідності розроблення власних алгоритмів регулювання з нуля. Лічильники швидких імпульсів (HSC) забезпечують можливість підрахунку імпульсів від витратомірів та енкодерів. Функції обробки переривань за часом та по фронту сигналу гарантують своєчасну реакцію системи на аварійні події.

Середовище програмування TIA Portal

Одним із вагомих аргументів на користь Simatic S7-1200 є потужне та зручне середовище програмування TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal). Воно об'єднує в єдиному програмному середовищі інструменти для конфігурування апаратної частини, розроблення програм контролера, налаштування комунікацій та створення проектів HMI-панелей. Це суттєво спрощує процес розроблення та налагодження системи, оскільки всі складові проекту доступні з єдиного інтерфейсу. TIA Portal підтримує мови програмування LAD, FBD, SCL та STL відповідно до стандарту MEK 61131-3,

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

що забезпечує широкі можливості для реалізації алгоритмів управління різної складності.

Комунікаційні можливості

Вбудований інтерфейс PROFINET контролера Simatic S7-1200 забезпечує його підключення до мережі Ethernet та взаємодію з широким спектром периферійних пристроїв — панелями оператора, частотними перетворювачами, розподіленими модулями введення-виведення тощо. Підтримка протоколу Modbus TCP/RTU дозволяє інтегрувати контролер до систем диспетчеризації будівлі, а також підключати польові прилади з відповідним інтерфейсом. Це є важливою перевагою з точки зору масштабованості та подальшого розвитку системи.

Надійність та промислове виконання

Контролери серії Simatic S7-1200 виготовляються відповідно до жорстких вимог промислового стандарту та пройшли сертифікацію за міжнародними стандартами CE, UL, cULus. Вони розраховані на роботу в діапазоні температур від 0 до +55 °C та відносній вологості до 95% без конденсації, що відповідає умовам експлуатації у щитах управління вентиляційних установок. Середній наробіток на відмову (MTBF) контролерів Simatic S7 становить понад 100 000 годин, що забезпечує високу надійність системи в цілому.

Інтеграція з панелями HMI

Simatic S7-1200 є оптимально сумісним з панелями оператора серії SIMATIC HMI Basic та Comfort від того ж виробника. Завдяки єдиному середовищу TIA Portal проект HMI створюється паралельно з проектом контролера, а теги контролера автоматично доступні при розробленні екранів оператора. Це значно скорочує час розроблення людино-машинного інтерфейсу та мінімізує ймовірність помилок при налаштуванні комунікації між контролером та панеллю, рис. 1.5.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд продуктів Siemens

Поширеність та підтримка

Контролери Simatic S7-1200 є одними з найбільш поширених у світі та широко застосовуються в Україні. Це забезпечує доступність кваліфікованих спеціалістів для монтажу, налагодження та обслуговування системи, а також широку базу технічної документації, навчальних матеріалів та готових прикладів програм. Розгалужена мережа авторизованих сервісних центрів Siemens в Україні гарантує оперативне технічне обслуговування та постачання запасних частин [11, 12].

Таким чином, контролер Simatic S7-1200 є оптимальним вибором для реалізації АСУ припливно-витяжною установкою завдяки поєднанню широких функціональних можливостей, зручного середовища програмування, розвинених комунікаційних засобів та високої надійності.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.5 Постановка задачі

На підставі проведеного аналізу предметної області, огляду існуючих рішень з автоматизації вентиляційних систем та обґрунтування вибору засобів автоматизації сформульовано мету та завдання даної бакалаврської роботи.

Метою роботи є розроблення автоматизованої системи управління припливно-витяжною установкою на базі контролера Simatic S7-1200, що забезпечує автоматичне підтримання заданих параметрів мікроклімату, захист обладнання від аварійних режимів роботи та зручний людино-машинний інтерфейс для оперативного персоналу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- розробити структурну та функціональну схеми АСУ припливно-витяжною установкою з визначенням каналів вимірювання та управління;
- виконати вибір та обґрунтування датчиків температури, тиску та інших засобів вимірювання, а також виконавчих механізмів системи;
- виконати конфігурування апаратної частини контролера Simatic S7-1200 та модулів розширення в середовищі TIA Portal;
- розробити схему електричну принципову та схему підключення польового обладнання до контролера;
- розробити проект щита управління припливно-витяжною установкою;
- реалізувати програмне забезпечення контролера з алгоритмами автоматичного управління установкою, включаючи ПІД-регулювання температури припливного повітря;
- розробити людино-машинний інтерфейс для оперативного контролю та управління параметрами установки;
- провести симуляцію роботи розробленої системи в середовищі TIA Portal та виконати налагодження алгоритмів управління.

Розроблювана АСУ повинна забезпечувати виконання таких функціональних вимог, наведених нижче.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Автоматичне регулювання температури припливного повітря в діапазоні 16–28 °С з точністю ± 1 °С шляхом керування потужністю калорифера за алгоритмом ПІД-регулювання.

Керування вентиляторами припливного та витяжного повітря через частотні перетворювачі з можливістю плавного регулювання продуктивності в діапазоні 20–100% від номінальної.

Керування повітряними клапанами — автоматичне відкриття клапанів при запуску установки та закриття при її зупинці або аварії.

Контроль стану фільтрів за сигналом датчика перепаду тиску з формуванням сигналу про необхідність обслуговування при перевищенні порогового значення.

Захист калорифера від замерзання — автоматичне відключення установки та відкриття клапана гарячої води при зниженні температури теплоносія або повітря після калорифера нижче допустимого значення.

Аварійний захист — автоматичне відключення установки при спрацюванні пожежної сигналізації, перегріві електродвигунів, несправності частотних перетворювачів або інших аварійних подіях з формуванням відповідних сповіщень.

Реалізація режимів роботи — автоматичний, ручний та нічний (економічний) режими з можливістю перемикання через НМІ-панель.

До вимог щодо людино-машинного інтерфейсу належать: відображення поточних значень температури, стану обладнання та активних аварій; можливість задання уставок регулювання; відображення журналу аварій та передісторії параметрів.

Таким чином, сформульовані мета та завдання визначають обсяг і зміст подальших розділів роботи, присвячених розробленню апаратної та програмної складових АСУ припливно-витяжною установкою.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

2.1 Технологічний опис об'єкта автоматизації

Об'єктом автоматизації у даній бакалаврській роботі є центральна припливно-витяжна вентиляційна система будівлі, що призначена для створення необхідного мікроклімату у виробничій зоні приміщення. Загальне компонування установки та розміщення основних елементів наведено на схемі обладнання, рис. 2.1.

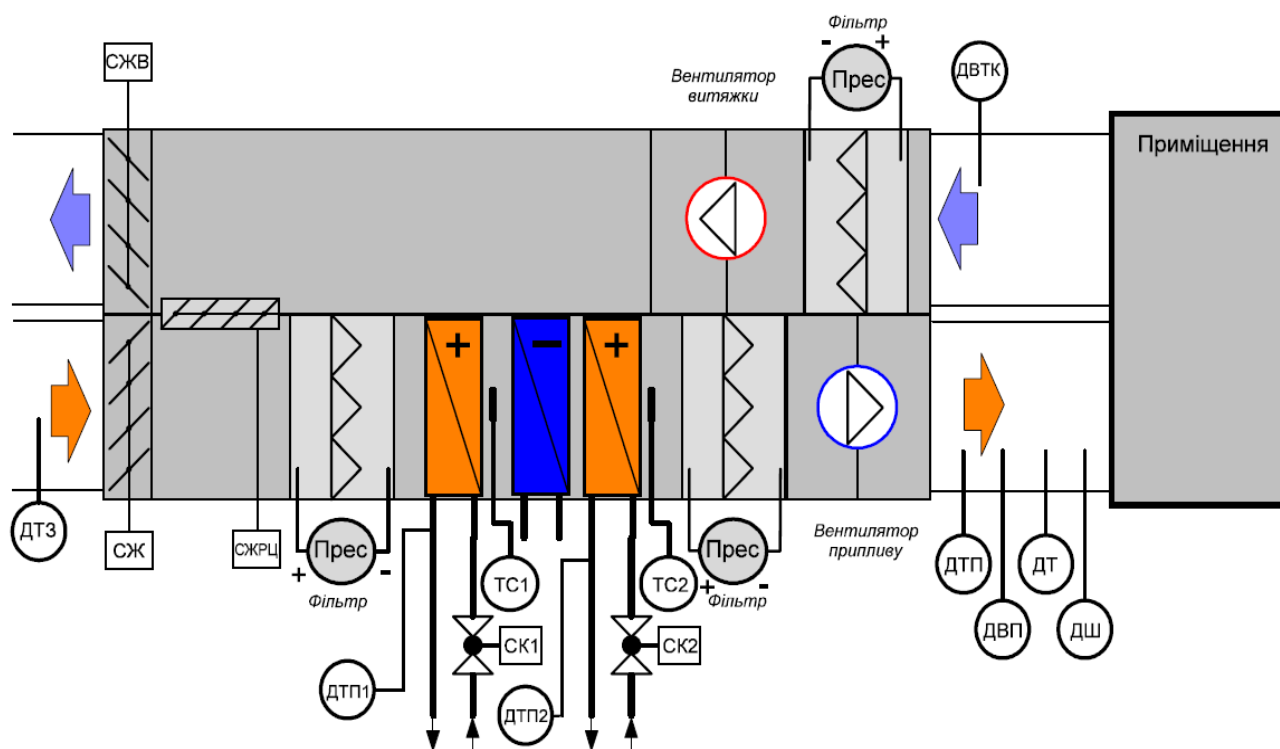


Рисунок 2.1 – Схема обладнання

Система призначена для управління роботою центральної припливної і витяжної вентиляції з двома паровими калориферами, фреоновим охолоджувачем (компресорно-конденсаторним блоком), зволожувачем та

камерою рециркуляції. Вона забезпечує повністю автоматичний режим роботи і не потребує частого обслуговування з боку персоналу.

Для правильної роботи автоматики необхідне виконання трьох основних умов: постійна наявність електричного живлення ~ 400 В/50 Гц; постійна наявність пари з температурою 100-120 °С на об'язці калориферів [13].

Склад вентиляційної установки

Припливний вентилятор з електродвигуном потужністю 18,5 кВт є основним виконавчим механізмом системи подачі свіжого повітря. Керування двигуном здійснюється через частотний перетворювач, що живиться від мережі 3×380 В через автоматичний вимикач та підключається до двигуна кабелем. Застосування частотного перетворювача забезпечує плавний пуск двигуна без пускових струмів, безступінчасте регулювання продуктивності вентилятора, а також економію електроенергії завдяки роботі в режимі зниженої продуктивності при невеликих теплових навантаженнях.

Витяжний вентилятор з електродвигуном потужністю 11 кВт забезпечує видалення відпрацьованого повітря з приміщень. Керування здійснюється через окремий частотний перетворювач, що живиться через автоматичний вимикач. Крім основних вентиляторів система має три додаткові витяжні вентилятори з окремими частотними перетворювачами: 0,55 кВт (230 В), 3 кВт (380 В) та 1,5 кВт (380В), що забезпечують витяжку з окремих зон будівлі.

Двигуни всіх вентиляторів захищені від струмів короткого замикання та перевантаження автоматичними вимикачами, а також оснащені вбудованими термоконтактами для захисту від теплового перевантаження. Сигнали термоконтактів надходять на дискретні входи контролера і при спрацюванні викликають аварійне відключення установки.

Перший та другий паровий калорифер є основними елементами системи нагріву припливного повітря в зимовий період. Калорифери підключені до системи парового теплопостачання з температурою пари 100-

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

120 °С. Регулювання теплопродуктивності кожного калорифера здійснюється тристороннім регулювальним клапаном з електросервоприводом (СК1, СК2) із аналоговим сигналом керування 0-10 В. Перший калорифер передбачений схемою автоматики, проте на момент введення системи в експлуатацію є відключеним в налаштуванні - його активація в програмі контролера здійснюється через параметр «Перший нагрівач» в інженерному меню. Другий калорифер є основним і постійно активним елементом нагріву. В меню контролера для кожного калорифера налаштовуються максимальне та мінімальне положення клапана, параметри ПД-регулятора, а також графік мінімального положення клапана відносно температури зовнішнього повітря.

Для захисту калориферів від замерзання в системі передбачено контроль температури зворотної пари (конденсату) за допомогою датчиків ДТП1 та ДТП2. В меню контролера для кожного калорифера окремо налаштовуються: температура прогріву, задана температура зворотної пари, аварійна температура та загрозна температура - при досягненні якої система вживає відповідних захисних заходів аж до повного відключення установки та відкриття клапана на 100%.

Компресорно-конденсаторний блок (ККБ) є фреоновим охолоджувачем припливного повітря, що використовується в літній період для підтримання заданої температури в приміщеннях. ККБ має чотири незалежні ступені охолодження, керування кожною з яких здійснюється окремим дискретним сигналом від контролера через магнітні пускачі. Алгоритм роботи ККБ передбачає чергове вмикання ступенів з затримкою між кожним вмиканням для запобігання гідравлічним ударами у фреоновому контурі. Кожна ступінь має індивідуально налаштовувані пороги та гістерезис вмикання/вимикання. Сигнал аварії ККБ надходить на дискретний вхід контролера.

Зволожувач повітря призначений для підтримання заданого рівня вологості припливного повітря. Запуск зволожувача здійснюється дискретним сигналом від контролера через комутаційну коробку, а регулювання

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

інтенсивності зволоження – аналоговим сигналом 0-10 В (керування відкриттям клапана зволожувача). В меню контролера налаштовуються максимальне та мінімальне положення клапана зволожувача, а також параметри ПД-регулятора вологості.

Повітряні клапани (жалюзі) припливного (СЖ) та витяжного (СЖВ) каналів з електросервоприводами забезпечують перекриття повітряних каналів при зупинці установки. Сервоприводи керуються аналоговим сигналом 0-10 В та мають зворотний зв'язок за положенням. При натисканні кнопки «ПУСК» клапани відкриваються одночасно із запуском вентиляторів; при натисканні «СТОП» або виникненні аварії – автоматично закриваються. Важливою вимогою є заборона вимикання головного вимикача для зупинки установки, оскільки це може призвести до замерзання калорифера в зимовий період та некоректної роботи контролера.

Камера рециркуляції являє собою вузол змішування витяжного та зовнішнього повітря, що дозволяє зменшити навантаження на калорифери в перехідний та зимовий сезони за рахунок повернення частини теплого витяжного повітря в припливний канал. Положення заслінки камери рециркуляції регулюється сервоприводом СЖРЦ із сигналом 0-10 В. В меню контролера налаштовуються максимальне та мінімальне положення заслінки окремо для зимового та літнього сезонів, а також параметри ПД-регулятора рециркуляції.

Система вимірювання параметрів

Для контролю технологічних параметрів система оснащена комплексом датчиків, перелік та умовні позначення яких наведено:

- ДТЗ – датчик температури зовнішнього повітря (Pt1000), встановлений зовні будівлі;
- ДТП - датчик температури припливного повітря (Pt1000), встановлений у припливному каналі після калориферів;
- ДТП1 – датчик температури зворотної пари калорифера №1 (Pt1000);

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- ДТП2 – датчик температури зворотної пари калорифера №2 (Pt1000);
- ДВП – датчик вологості припливного повітря (сигнал 0-10 В);
- ДВТК – датчик вологості та температури кімнатного повітря (сигнал 0-10В), встановлений у витяжному каналі;
- ДТ – датчик тиску припливного повітря (сигнал 0-10 В);
- ДШ - датчик швидкості припливного повітря (сигнал 0-10 В);
- ТС1, ТС2 – термостати протизаморозного захисту (дискретний сигнал);
- реле перепаду тиску (пресостати) для контролю забруднення фільтрів припливу (груба та тонка очистка) та витяжки;
- термоконтакти двигунів вентиляторів – захист від перегріву;
- пожежний контакт – для аварійного відключення системи при спрацюванні пожежної сигналізації.

Режими роботи системи

Режим «ЗИМА» активується автоматично при зниженні температури зовнішнього повітря (ДТЗ) нижче налаштованого порогового значення переходу сезонів. В цьому режимі регулювання температури припливного повітря здійснюється шляхом ПІД-керування ступенем відкриття клапанів СК1 та СК2. Датчик ДТП обмежує температуру припливу в діапазоні 10-40 °С. Система автоматично враховує температуру зовнішнього повітря при формуванні завдання на температуру кімнатного повітря, забезпечуючи комфортні умови без ручного втручання. Задана кімнатна температура в зимовий та літній сезони налаштовується окремо через меню панелі оператора.

Режим «ЛІТО» активується при підвищенні температури зовнішнього повітря вище налаштованого порогового значення. Для охолодження приміщень ККБ вмикає ступені охолодження почергово залежно від величини відхилення температури від заданого значення. При необхідності осушення повітря (в умовах підвищеної вологості) система додатково вмикає другий паровий нагрівач (СК2) для підігріву осушеного повітря до комфортної температури.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Економний режим – режим зниженої продуктивності, що активується автоматично за розкладом у визначені години доби або дні тижня. В економному режимі задані значення температури та вологості можуть відрізнятися від значень основного режиму роботи, що дозволяє суттєво знизити споживання енергоресурсів у неробочий час.

Перехід між сезонними режимами та між основним і економним режимами відбувається автоматично без втручання обслуговуючого персоналу на підставі аналізу сигналів датчиків та поточного часу.

Аварійні ситуації та реакція системи

Система передбачає автоматичне відключення та формування аварійного сигналу при виникненні таких ситуацій: загроза замерзання калорифера (спрацювання термостатів ТС1/ТС2 або критичне зниження температури зворотної пари); аварія двигунів вентиляторів (спрацювання термоконтактів або теплових реле); забруднення фільтрів (індикація блиманням лампи аварії без зупинки установки); обрив датчиків температури; спрацювання пожежної сигналізації; аварія ККБ. При виникненні аварії замерзання клапани калориферів відкриваються на 100% для забезпечення циркуляції теплоносія. Повторне включення системи можливе лише після усунення причини аварії та її скасування в меню контролера.

2.2 Функціональна схема АСУ

Автоматизована система управління припливно-витяжною установкою побудована за тригівневою ієрархічною структурою, що є типовою для сучасних промислових систем автоматизації.

Нижній рівень (польовий) — включає всі засоби вимірювання та виконавчі механізми, що безпосередньо взаємодіють з технологічним процесом: датчики температури (ДТЗ, ДТП, ДТП1, ДТП2), датчики вологості

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

(ДВП, ДВТК), датчики тиску та швидкості повітря (ДТ, ДШ), термостати протизаморозного захисту (ТС1, ТС2), реле перепаду тиску фільтрів, термоконтакти двигунів, пожежний контакт, кнопки «ПУСК» та «СТОП», а також виконавчі механізми – частотні перетворювачі вентиляторів, сервоприводи клапанів та жалюзі (СЖ, СЖВ, СЖРЦ, СК1, СК2), ступені ККБ та зволожувач [7, 9].

Середній рівень (керуючий) – програмований логічний контролер Simatic S7-1200 (CPU 1215C) з модулями розширення SM1231 та SM1232. Контролер отримує сигнали від польового рівня, виконує алгоритми управління та формує керуючі впливи на виконавчі механізми. На цьому рівні реалізовані всі алгоритми ПІД-регулювання, логіка сезонного перемикання, аварійний захист та формування звітів.

Верхній рівень (диспетчерський) — панель оператора Siemens KTP400 Basic, підключена до контролера через інтерфейс PROFINET. Вона забезпечує відображення поточного стану системи, задання уставок регулювання, перегляд журналу аварій та налаштування параметрів роботи.

Функціональна схема АСУ, рис.2.2, описує інформаційні зв'язки між елементами системи та реалізовані контури регулювання. В розроблюваній системі реалізовано такі основні контури:

Контур регулювання температури припливного повітря є головним контуром системи. Датчик ДТП вимірює поточну температуру повітря у припливному каналі після калориферів та передає сигнал на аналоговий вхід модуля SM1231. ПІД-регулятор контролера формує керуючий вплив у вигляді аналогового сигналу 0–10 В на сервоприводи клапанів СК1 та СК2 (зима) або на ступені ККБ (літо). Завдання на температуру формується каскадно — зовнішній контур регулює кімнатну температуру за показаннями датчика ДВТК, а внутрішній — температуру припливного повітря за показаннями ДТП. Температура зовнішнього повітря (ДТЗ) використовується для корекції завдання та автоматичного визначення сезону роботи.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

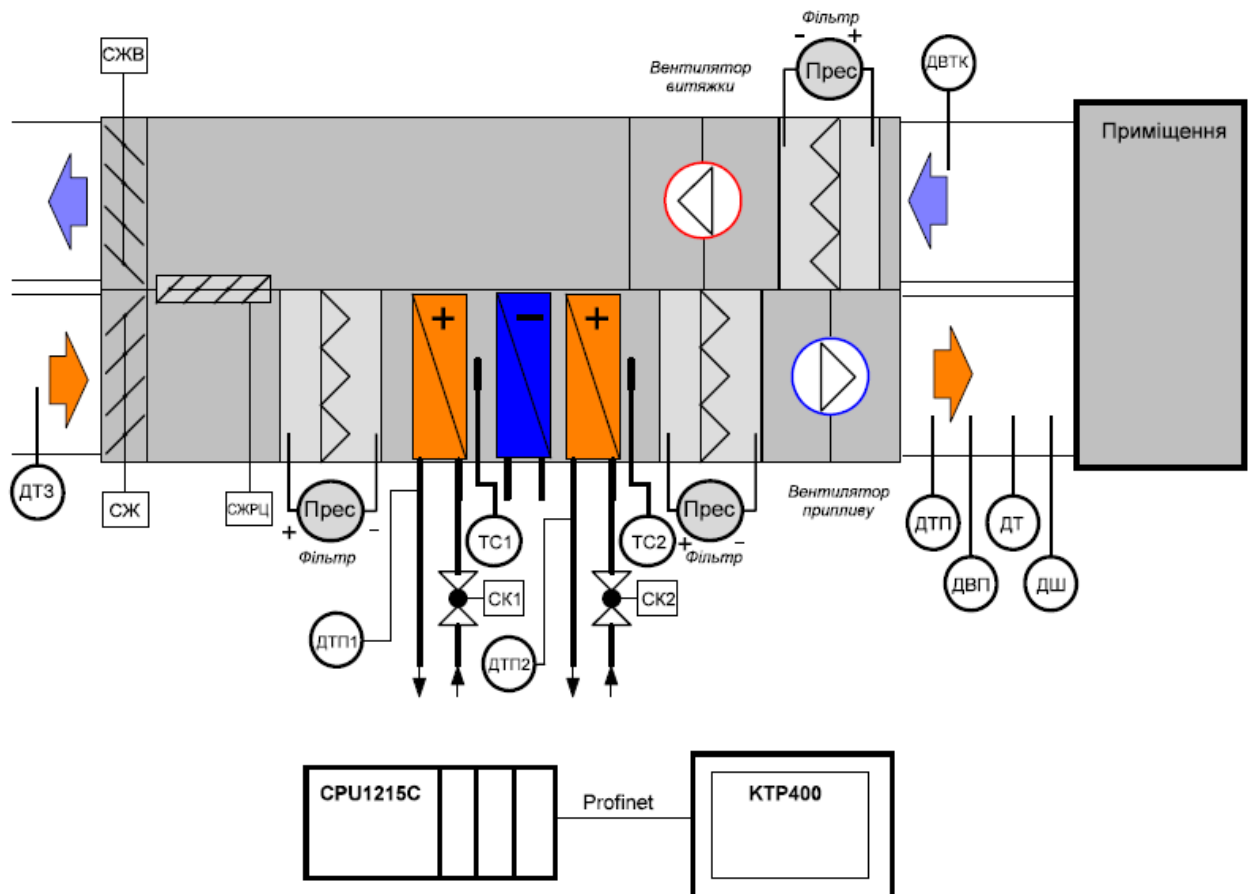


Рисунок 2.2 – Схема функціональна

Контур регулювання вологості забезпечує підтримання заданого рівня вологості припливного повітря. Датчик ДВТК вимірює вологість кімнатного повітря, на основі чого формується завдання на вологість припливного повітря з урахуванням налаштованої дельти. Датчик ДВП вимірює поточну вологість у припливному каналі. ПІД-регулятор формує керуючий вплив на сервопривід клапана зволожувача (сигнал 0–10 В).

Контур регулювання продуктивності вентиляторів забезпечує підтримання заданого тиску або швидкості повітря у припливному каналі. Залежно від вибраного в меню алгоритму регулювання контролер використовує або сигнал датчика тиску ДТ, або сигнал датчика швидкості ДШ як зворотний зв'язок для ПІД-регулятора, що формує завдання на частотні перетворювачі вентиляторів (сигнал 0-10 В).

Контур управління рециркуляцією регулює ступінь змішування витяжного та зовнішнього повітря шляхом керування сервоприводом СЖРЦ. Завдання на положення заслінки формується залежно від сезону та поточного теплового навантаження в діапазоні, налаштованому в меню контролера окремо для зимового та літнього режимів.

Контур аварійного захисту є наскрізним і охоплює всі рівні системи. При надходженні будь-якого аварійного сигналу (термостати ТС1/ТС2, термоконтакти двигунів, пожежний контакт, аварія ККБ) контролер виконує аварійне відключення установки за заданим алгоритмом: закриваються жалюзі СЖ та СЖВ, зупиняються вентилятори, відкриваються клапани калориферів СК1 та СК2 на 100% (при загрозі замерзання), на панелі оператора відображається інформація про характер аварії.

2.3 Вибір та обґрунтування засобів автоматизації

Вибір засобів автоматизації є одним із ключових етапів проектування АСУ, оскільки від правильного підбору датчиків та виконавчих механізмів залежить точність регулювання, надійність та довговічність системи. При виборі обладнання враховувалися такі критерії: відповідність діапазону вимірювання технологічним параметрам об'єкта; сумісність типу вихідного сигналу з входами контролера Simatic S7-1200; ступінь захисту корпусу відповідно до умов монтажу; надійність та доступність на ринку України; а також можливість роботи в єдиній екосистемі обладнання Siemens.

Для вимірювання температури у системі застосовано датчики на основі платиногового терморезистора Pt1000. Принцип дії ґрунтується на залежності електричного опору платини від температури: при 0 °С опір становить 1000 Ом і змінюється приблизно на 3,85 Ом на кожен градус. На відміну від датчиків Pt100, датчики Pt1000 мають у десять разів вищий базовий опір, що

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

суттєво знижує вплив опору з'єднувальних проводів на результат вимірювання. Це є важливою перевагою при розміщенні датчиків на значній відстані від щита управління. Датчики відповідають вимогам EN60751, клас точності В або $\pm 0,3$ °C при 0 °C. Усі температурні датчики Pt1000 підключаються до аналогових входів модуля SM1231 у режимі вимірювання опору.

Датчик температури припливного повітря ДТП. Для цієї позиції обрано Siemens QAM2120.200 – каналний усереднювальний датчик температури повітря. Датчик має термочутливий елемент Pt1000, широкий діапазон вимірювання від -50 до $+80$ °C та відрізняється високою точністю вимірювань незалежно від розподілу температури в повітряних шарах. Конструкція передбачає двосекційний пластиковий корпус з основою та клемми для підключення, а також повністю автономний гнучкий зонд з чутливим елементом, що фіксує середнє значення температури по довжині зонда [15, 16]. Довжина зонда 500 мм, ступінь захисту IP42/54. Зовнішній вигляд датчика наведено на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд датчика Siemens QAM2120.200

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Датчики температури зворотної пари ДТП1 та ДТП2. Для встановлення на трубопроводах зворотної пари калориферів обрано Siemens QAE2120.010 - занурювальний датчик температури рідини. Датчик має чутливий елемент LG-Ni 1000, діапазон вимірювання від -30 до +130 °C та постійну часу з гільзою 30 секунд [17]. Захисна гільза з нержавіючої сталі довжиною 100 мм забезпечує механічний захист та можливість заміни датчика без зупинки системи теплопостачання. Зовнішній вигляд наведено на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Датчик температури занурювальний Siemens QAE2120.010

Датчик температури зовнішнього повітря ДТЗ. Обрано Siemens QAC22 - вуличний датчик температури. Спеціальна конструкція датчика допомагає здійснювати вимірювання температури з мінімальним впливом сонячних променів, тим самим знижуючи вплив рівня сонячної радіації, повітряних потоків і температури стіни будівлі [18]. Датчик має чутливий елемент LG-Ni 1000, діапазон -50...+70 °C, ступінь захисту IP54. Встановлюється на північній або північно-західній стіні будівлі не нижче 2,5 м від рівня землі. Зовнішній вигляд наведено на рис. 2.5.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.5 – Датчик температури зовнішнього повітря Siemens QAC22

Для вимірювання температури та вологості у витяжному каналі обрано S+S Regeltechnik KFTF-SD-U - комбінований каналний датчик. Датчик вимірює відносну вологість і температуру повітря, перетворюючи виміряні величини у нормований сигнал 0...10 В. Він має корпус з ударостійкого пластику з кришкою, а також пластиковий фільтр для захисту чутливого елемента від забруднення [19]. Точність вимірювання вологості $\pm 2,0\%$, діапазон вимірювання вологості 0–100% RH. Датчик формує два незалежні вихідні сигнали 0-10 В – окремо для температури та для вологості, що підключаються до двох аналогових входів контролера CPU 1215C. Зовнішній вигляд наведено на рис. 2.6.



Рисунок 2.6 – Датчик температури та вологості S+S Regeltechnik KFTF-SD-U

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для вимірювання відносної вологості у припливному каналі обрано S+S Regeltechnik KFF-SD-U – каналний датчик вологості. Датчик вимірює відносну вологість повітря, перетворюючи виміряні величини у нормований сигнал 0...10 В. Має пластиковий спечений фільтр та корпус з ударостійкого пластику з кришкою, що замикається. Знаходить застосування в неагресивному середовищі без значного вмісту пилу, в системах вентиляції та кондиціонування. Точність вимірювання $\pm 2,0\%$, діапазон 0-100% RH, живлення 24 В AC/DC. Є датчиком зворотного зв'язку контуру регулювання вологості та підключений до аналогового входу модуля SM1231 [12, 13].

Для вимірювання статичного тиску у припливному каналі обрано Siemens QBM2030-30 – диференційний перетворювач тиску. Датчики перепаду тиску серії QBM2030 використовуються для зчитування показань перепаду тиску повітря або неагресивних газів в установках ОВК. Застосовуються для зчитування показань зниженого або підвищеного тиску в повітроводах відносно зовнішнього тиску, а також для контролю фільтрів та вентиляторів. Датчик має вихідний сигнал 0...10 В, діапазон вимірювання 0...1000 Па та ступінь захисту IP42. Час відклику 1 секунда [20]. Підключений до аналогового входу другого модуля SM1231. Зовнішній вигляд наведено на рис. 2.7.



Рисунок 2.6 – Датчик тиску каналний Siemens QBM2030-30

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для вимірювання швидкості повітряного потоку у припливному каналі обрано Siemens QVM62.1 - анемометричний каналний датчик. Датчик QVM62.1 застосовується для управління вентиляторами з модулюванням з метою налаштування величини базового об'ємного розходу, для управління швидкістю повітряного потоку на рівні постійного значення, компенсації коливань тиску та моніторингу розходу повітря в повітроводах [21, 22]. Датчик перетворює виміряну швидкість повітряного потоку в активний вихідний сигнал 0...10 В або 4...20 мА. Принцип вимірювання - анемометричний. Діапазон вимірювання 0...15 м/с, живлення 24 В AC/DC. Підключений до аналогового входу другого модуля SM1231. Зовнішній вигляд наведено на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 - Датчик швидкості повітряного потоку Siemens QVM62.1

Для контролю ступеня забруднення повітряних фільтрів обрано Belimo 01APS-10U - реле перепаду тиску. При чистому фільтрі (перепад тиску менше уставки) реле знаходиться у вимкненому стані. Якщо фільтр засмічений, тобто перепад тиску перевищує величину заданої уставки, контакти реле вмикають сигналізацію «Фільтр засмічений». Після заміни або очищення фільтра контакти реле повертаються у вихідний стан. Налаштування уставки

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

спрацювання здійснюється поворотною рукояткою з нанесеною шкалою. Діапазон уставки 50–500 Па, вихідний дискретний контакт, ступінь захисту IP54. У системі встановлено п'ять пресостатів: два для фільтрів припливу (тонка та груба очистка), два для фільтрів витяжки та один для контролю роботи вентилятора. Сигнали підключені до дискретних входів CPU 1215C. Зовнішній вигляд наведено на рис. 2.9.



Рисунок 2.9 – Реле перепаду тиску Belimo 01APS-10U

Для захисту водяних калориферів від замерзання обрано Siemens QAF63.6-J - капілярний термостат захисту. Термостат має чутливий елемент на основі активної капілярної трубки для вимірювання низьких температур у діапазоні від 0 до 15 °C. При правильному встановленні за калорифером він дозволяє вимірювати низькі температури повітря навіть у разі їх стратифікації. Відмінні особливості термостата: литий алюмінієвий міцний корпус, підвищена чутливість до змін температури на 30 см ділянці капіляра та механічне блокування гвинта підстройки [21, 22]. При спрацюванні контролер негайно виконує аварійне відключення з відкриттям клапанів на 100%. Підключені до дискретних входів CPU 1215C. Зовнішній вигляд наведено на рис. 2.10.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.10 – Термостат протизаморозного захисту Siemens QAF63.6-J

Частотні перетворювачі Lenze. Для керування приводами припливного (18,5 кВт) та витяжного (11 кВт) вентиляторів застосовуються частотні перетворювачі серії Lenze i550 — сучасна серія перетворювачів з вбудованим ПІД-регулятором, функцією плавного пуску, захистом двигуна від перевантаження та перегріву [24]. Аналоговий вхід 0-10 В приймає завдання на частоту від контролера; релейні виходи готовності та аварії підключені до дискретних входів CPU 1215C. Зовнішній вигляд наведено на рис. 2.11.



Рисунок 2.11 – Частотний перетворювач Lenze i550

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Сервоприводи клапанів та жалюзі. Для управління повітряними клапанами та засувками застосовано сервоприводи серії Siemens GDB/GLB/SKD з аналоговим сигналом керування 0-10 В від модуля SM1232. Для жалюзі припливу СЖ та витяжки СЖВ обрано Siemens GDB161.9E (крутний момент 5 Нм, час ходу 150 с, зворотний зв'язок 0-10 В). Для клапанів нагрівача СК1 та СК2 обрано Siemens SKD62 - тристоронній регулювальний привід, хід шпинделя 20 мм, час позиціонування 15 с. Для заслінки рециркуляції СЖРЦ обрано Siemens GDB131.1E (крутний момент 4 Нм, час ходу 90 с). Зовнішній вигляд сервоприводів наведено на рис. 2.12, 2.13, 2.14.



Рисунок 2.12 – Сервопривід жалюзі Siemens GDB161.9E



Рисунок 2.13 – Сервопривід клапана Siemens SKD62

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.14 – Сервопривід жалюзі Siemens GDB131.1E

2.4 Конфігурування контролера Simatic S7-1200 та модулів розширення

Конфігурування апаратної частини системи управління виконується в середовищі TIA Portal шляхом створення апаратного проекту, в якому визначається склад контролера, модулів розширення та комунікаційних пристроїв. Правильне конфігурування є необхідною умовою коректної адресації сигналів між фізичними входами/виходами та програмою контролера [25].

Основою апаратної конфігурації системи є центральний процесорний модуль Simatic S7-1200 CPU 1215C (6ES7215-1AG40-0XB0) у модифікації DC/DC/Relay - з живленням постійного струму 24 В від блока живлення PM1207, дискретними входами 24 В DC та дискретними виходами у вигляді релейних контактів, рис. 2.15. Модуль має робочу пам'ять 125 кБайт програм та 1 Мбайт даних, підтримує підключення до 8 модулів розширення сигналів, вбудований інтерфейс PROFINET з підтримкою до 3 з'єднань, а також технологічні об'єкти: до 6 швидкісних лічильників HSC, до 4 ПІД-регуляторів PID_Compact та до 4 виходів ШІМ. Вбудовані входи/виходи: 14 DI × 24 В DC, 10 DO × реле 2А, 2 AI × 0–10 В, 2 AO × 0–20 мА.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.15 – Контролер CPU 1215C

Конфігурацію апаратної частини контролера в середовищі TIA Portal наведено на рис. 2.16.

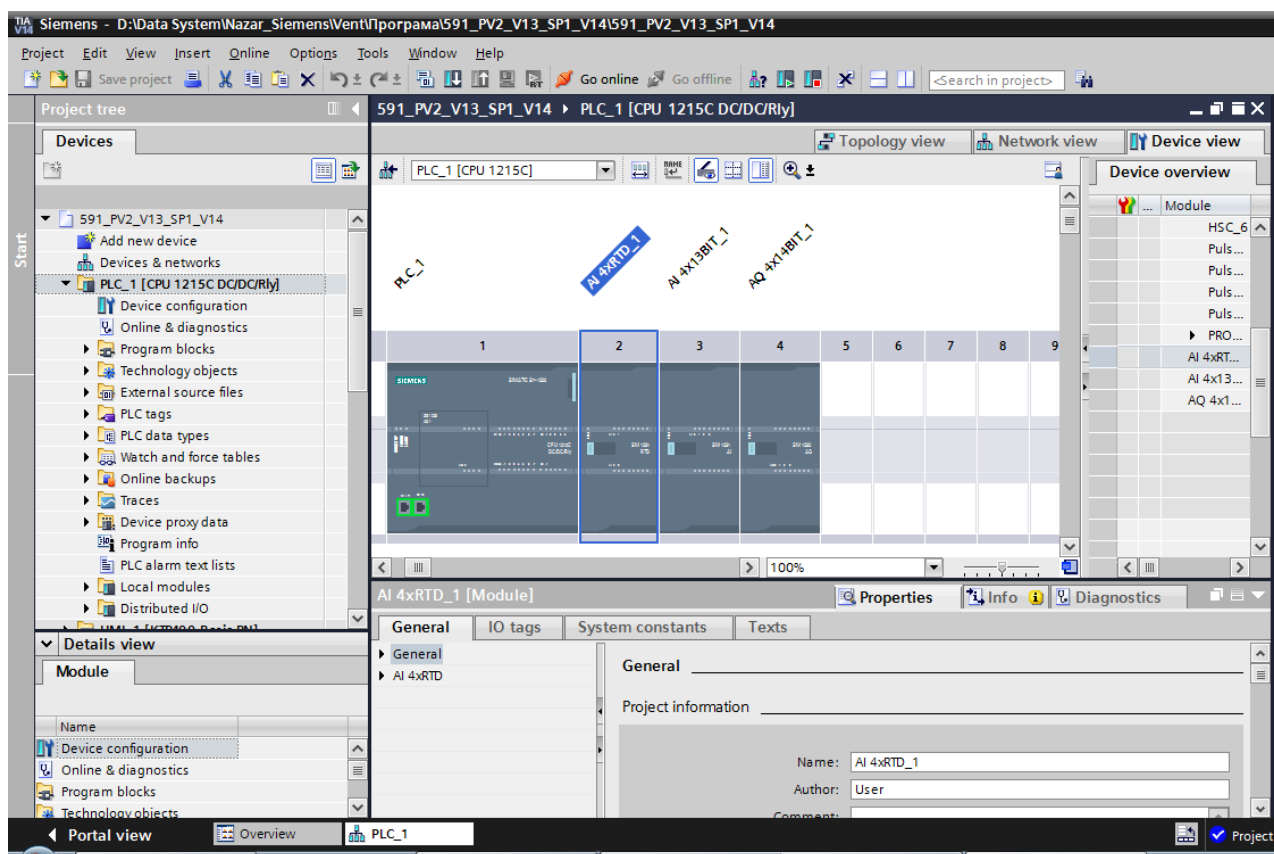


Рисунок 2.16 - Конфігурацію апаратної частини контролера

Вбудовані аналогові входи CPU 1215C використовуються для підключення датчика температури та вологості кімнатного повітря ДВТК - два сигнали 0-10 В (температура та вологість) підключено до AI0 та AI1 відповідно. Вбудовані дискретні входи CPU 1215C використовуються для підключення пожежного контакту, термоконтактів (РТС) приводів вентиляторів припливу та витяжки (TR1, TR2), датчиків забруднення фільтрів припливу та витяжки, сигналу аварії ККБ, термостатів протизаморозного захисту TC1 і TC2, а також кнопок «ПУСК» (SA3) та «СТОП» (SA4). Вбудовані дискретні виходи CPU 1215C використовуються для керування проміжними реле K1-K8, контакторами ступенів ККБ, зволожувачем та індикаційними лампами «Аварія» HL1 і «Робота» HL4.

Для живлення контролера та польової периферії застосовується стабілізований блок живлення Siemens PM1207 (6EP1332-1SH71), що формує напругу $U = 24$ В з вхідної напруги ~ 220 В. Вихідний струм 2,5 А є достатнім для живлення CPU 1215C, обох модулів розширення SM1231 та SM1232, а також підключеної периферії. PM1207 монтується на DIN-рейку поруч з процесорним модулем і з'єднується з ним безпосередньо через шину живлення.

У конфігурації системи застосовуються два модулі аналогових входів SM1231 AI 4×RTD (6ES7231-5PD32-0XB0) – спеціалізований модуль для підключення резистивних датчиків температури типів Pt100, Pt1000, Ni100, Ni1000, термопар та потенціометрів, рис. 2.17. Роздільна здатність модуля становить 15 біт + знак, час перетворення на канал - 10 мс, ізоляція між каналами та шиною - 500 В АС. Перший модуль SM1231 використовується для підключення чотирьох датчиків температури Pt1000 (рис.2.18): AI0 - ДТП, AI1 - ДТП1, AI2 - ДТП2, AI3 - ДТЗ. Другий модуль SM1231 використовується для підключення аналогових датчиків з сигналом 0-10 В: AI0 - ДВП, AI1 - ДТ, AI2 - ДШ. Налаштування типу датчика для кожного каналу виконується програмно у властивостях модуля в TIA Portal - для першого SM1231 усі

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

чотири канали налаштовуються в режимі Pt1000, для другого - в режимі вимірювання напруги 0-10 В.



Рисунок 2.17 – Модуль SM1231

> Channel1

Channel address: IW98

Measurement type: Thermal resistor (2-wire)

Thermal resistor: Pt 1000 standard range

Temperature coefficient: Pt 0.00385055 ohms/ohms/°C (DIN EN 60751)

Temperature scale: Celsius

Smoothing: Weak (4 cycles)

☐ Enable broken wire diagnostics

Рисунок 2.18 – Налаштування модуля SM1231

Для формування керуючих аналогових сигналів на виконавчі механізми застосовується модуль SM1232 AQ 4×12bit (6ES7232-4HD32-0XB0) з роздільною здатністю 12 біт та часом встановлення вихідного сигналу 300 мкс, рис. 2.19. Розподіл аналогових виходів модуля: AQ0 - СК1 (сервопривід клапана нагрівача №1, 0-10 В), AQ1 - СК2 (сервопривід клапана нагрівача №2, 0-10 В), AQ2 - керування зволожувачем (0-10 В), AQ3 - сервопривід рециркуляції СЖРЦ (0-10 В). Аналогові виходи сервоприводів жалюзі СЖ та

СЖВ, а також завдання на частотні перетворювачі формуються через вбудований аналоговий вихід AQ контролера CPU 1215C.



Рисунок 2.19 – Модуль SM1232

Мережева топологія проекту реалізована безпосередньо через вбудований інтерфейс PROFINET контролера CPU 1215C без застосування додаткового комутатора - CPU 1215C та KTP400 Basic PN з'єднані між собою напряму через мережу PN/IE_1, що видно на мережевому поданні проекту в TIA Portal (рис. 2.20). Це спрощує конфігурацію та знижує кількість апаратних компонентів у щиті управління.

Для відображення стану системи та задання уставок регулювання застосовується панель оператора Siemens KTP400 Basic PN (6AV2123-2DB03-0AX0) - базова сенсорна панель з діагоналлю екрана 4,3 дюйма та роздільною здатністю 480×272 пікселі [27]. Панель підключається до контролера через інтерфейс PROFINET та програмується в єдиному середовищі TIA Portal разом з проектом контролера. Технічні характеристики: кольоровий TFT-дисплей 64К кольорів, 4 функціональні кнопки F1–F4, ступінь захисту передньої панелі IP65, живлення 24 В DC. Конфігурацію панелі оператора в TIA Portal наведено на рис. 2.21.

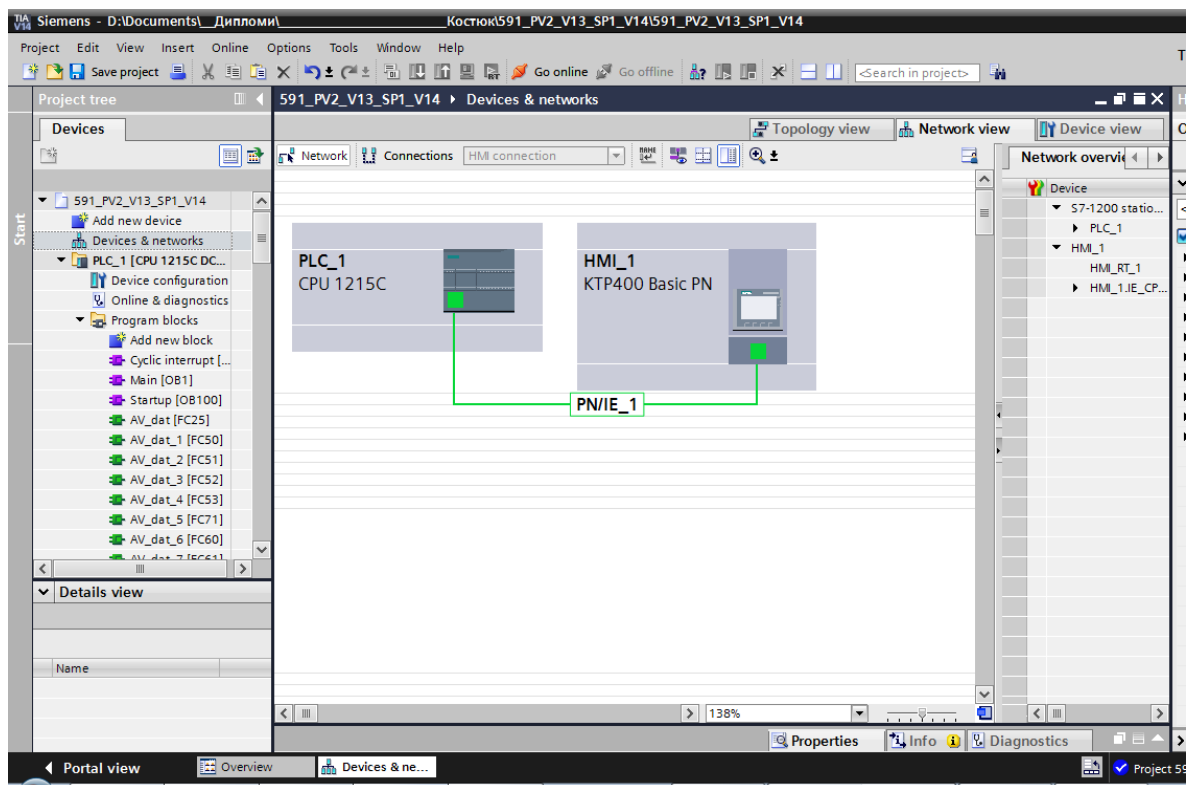


Рисунок 2.20 – Мережева конфігурація

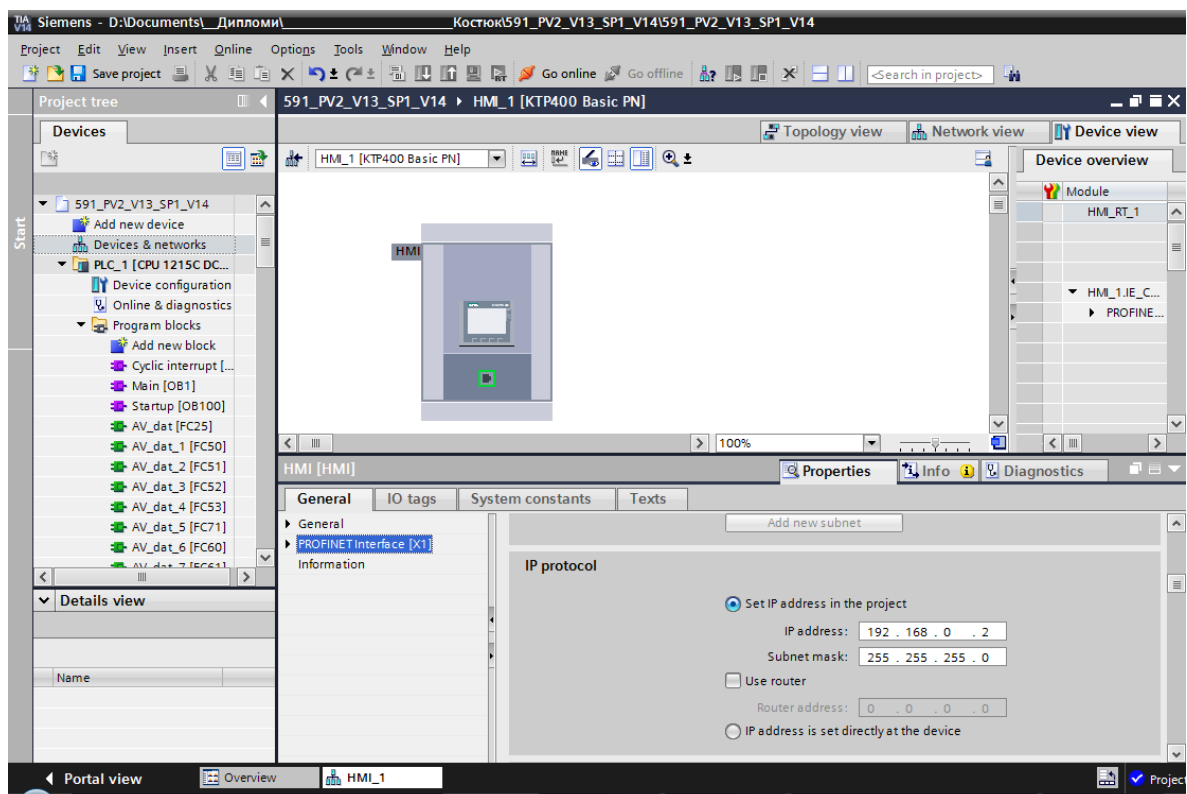


Рисунок 2.21 – Конфігурація панелі оператора

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ

Арк.

55

При конфігуруванні апаратної частини в TIA Portal кожному модулю автоматично призначаються адреси в адресному просторі контролера. Розподіл адрес для даної конфігурації наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Розподіл адрес входів та виходів контролера

Модуль	Адреси входів	Адреси виходів
CPU 1215C (DI)	I0.0 – I1.5	-
CPU 1215C (DO)	-	Q0.0 – Q1.1
CPU 1215C (AI)	IW64 – IW66	-
CPU 1215C (AO)	—	QW64
SM1231 №1 (AI Pt1000)	IW96 – IW102	-
SM1231 №2 (AI 0–10 В)	IW112 – IW118	-
SM1232 (AO)	-	QW96 – QW102

Після завершення конфігурування апаратної частини виконується компіляція проекту та завантаження конфігурації до контролера через інтерфейс PROFINET. У разі відповідності фізичного складу обладнання сконфігурованому в TIA Portal контролер переходить у робочий режим, про що свідчить зелений індикатор RUN на передній панелі CPU 1215C.

2.5 Розроблення схеми електричної принципової та схеми підключення

Схема електрична принципова є основним конструкторським документом, що визначає електричні зв'язки між усіма елементами системи автоматизації. Вона розроблена відповідно до вимог ДСТУ та є підставою для монтажу щита управління, прокладання кабельних трас та підключення польового обладнання.

Силовая часть

Силовая часть системы (рис. 2.22) описує живлення всіх силових споживачів від мережі 3×400 В/50 Гц через головний автоматичний вимикач F1 типу C100/3ф. Від силової шини через окремі автоматичні вимикачі живляться частотний перетворювач припливного вентилятора N1 (F2, C63/3ф, кабель ВВГ 4×16), частотний перетворювач витяжного вентилятора N2 (F3, C32/3ф, кабель ВВГ 4×6), а також частотні перетворювачі додаткових вентиляторів B5.2 (F4, C10/1ф), B5.4 (F5, C16/3ф) та B5.5 (F6, C20/1ф). Трансформатор T1 (230/24 В, F7, C10/1ф) формує напругу ~ 24 В для живлення периферії контролера та польових приладів. Блок живлення PM1207 підключається до вторинної обмотки трансформатора і формує стабілізовану напругу ~ 24 В для живлення CPU 1215C та модулів розширення [6, 11].

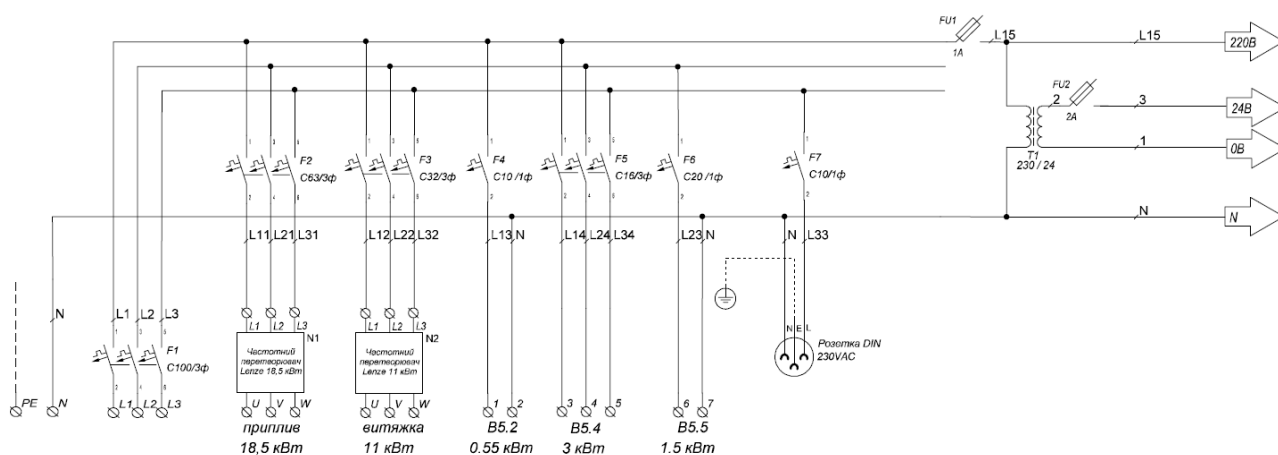


Рисунок 2.22 – Силовая часть

Схема підключення дискретних входів контролера

На рис. 2.23 наведено схему підключення дискретних входів контролера CPU 1215C (роз'єм X10) та вбудованих аналогових входів (роз'єм X11). До дискретних входів підключено такі сигнали: забруднення фільтра припливу (тонка та груба очистка), забруднення фільтрів витяжки, протипожежний контакт, датчики РТС припливного вентилятора (через реле TR1) та витяжного вентилятора (через реле TR2), аварія ККБ, термостати протизаморозного

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		57

захисту TC1 та TC2, кнопки «ПУСК» (SA3) та «СТОП» (SA4). До вбудованих аналогових входів AI підключено комбінований датчик температури та вологості витяжного повітря ДВТК з двома сигналами 0–10 В [6].

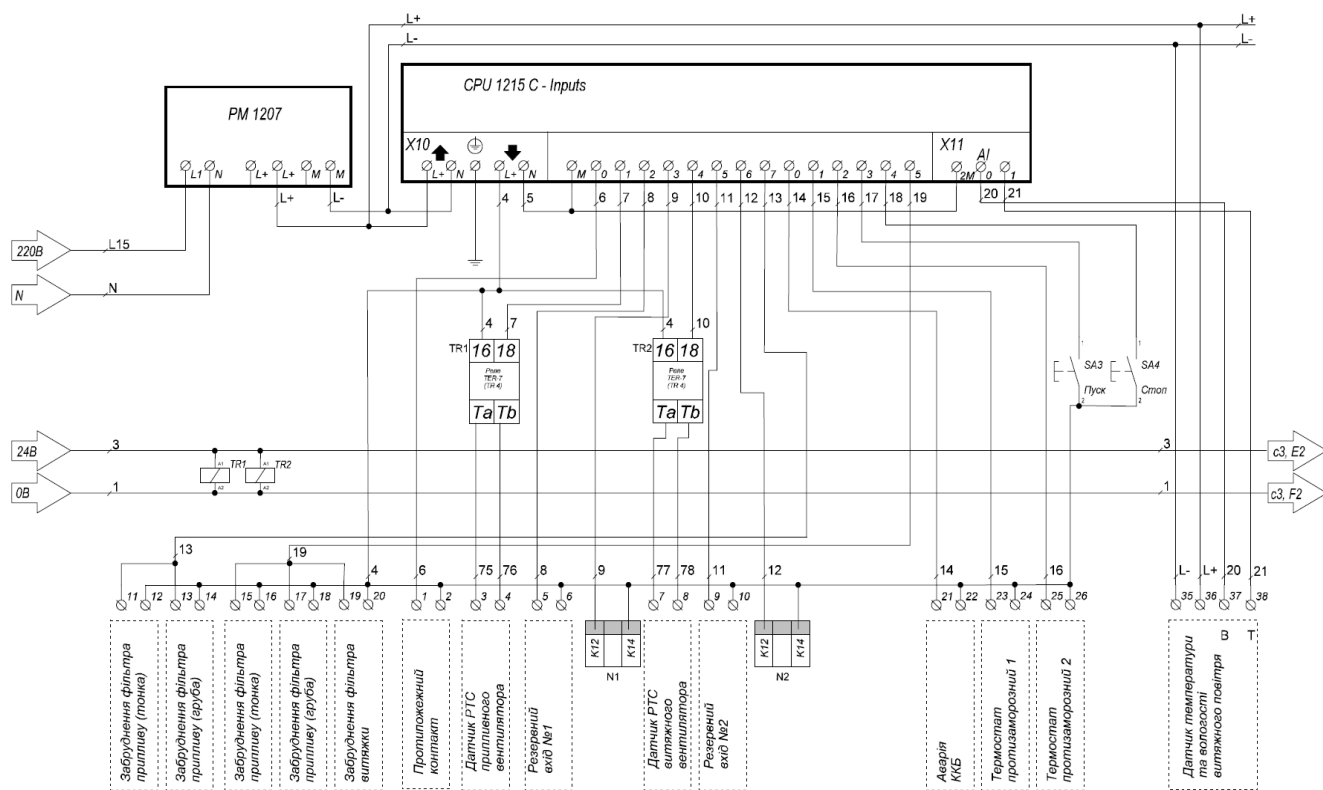


Рисунок 2.23 – Підключення дискретних входів

Схема підключення аналогових модулів

Рисунок 2.24 містить схему підключення модулів SM1231 та SM1232. Перший модуль SM1231 (аналогові входи AI0-AI3) підключає чотири датчики температури Pt1000: ДТП (температура припливного повітря), ДТП1 та ДТП2 (температура зворотної пари калориферів №1 і №2) та ДТЗ (температура зовнішнього повітря). Підключення виконується двопровідною схемою з використанням екранованого кабелю для зниження завад. Модуль SM1232 (аналогові виходи AQ0-AQ3) підключає сервоприводи клапанів парових нагрівачів СК1 та СК2 (сигнал 0-10 В), привід зволожувача та сервопривід заслінки рециркуляції СЖРЦ (сигнал 0-10 В) [6, 25, 26].

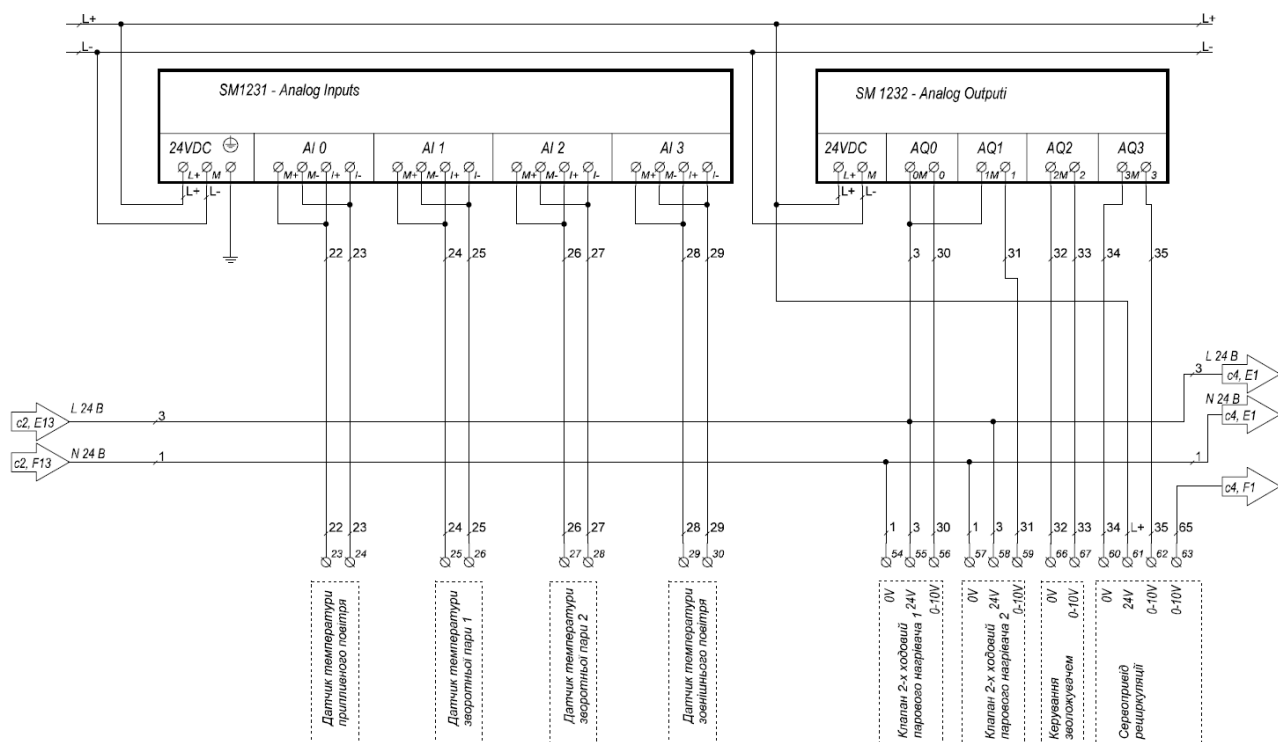


Рисунок 2.24 – Підключення дискретних входів

На рис. 2.25 наведено схему підключення другого модуля SM1231 до аналогових датчиків з сигналом 0–10 В: ДВП (вологість припливного повітря, вхід AI0), ДТ (тиск припливного повітря, вхід AI1) та ДШ (швидкість припливного повітря, вхід AI2).

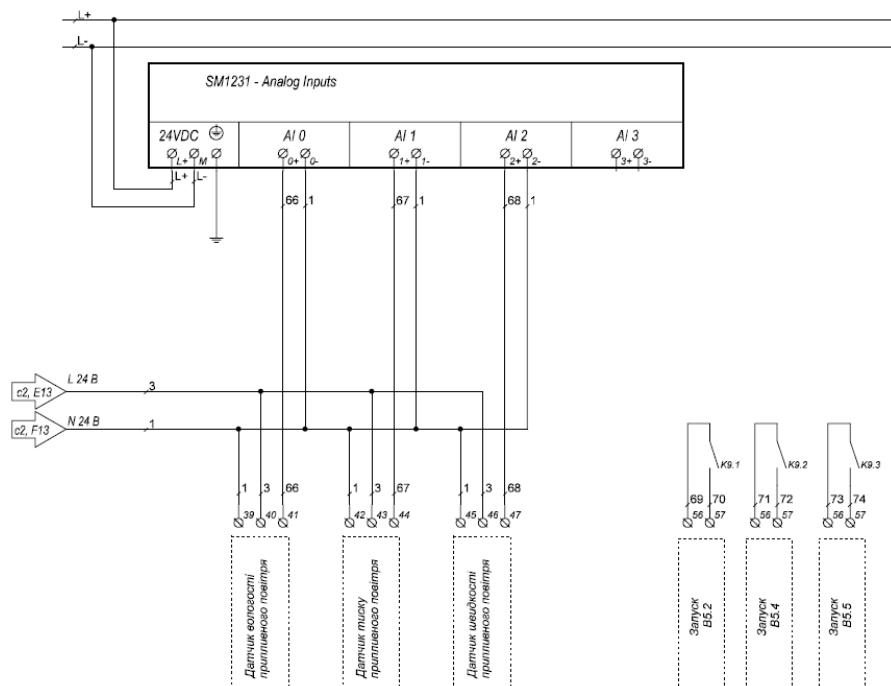


Рисунок 2.25 – Підключення дискретних входів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ

Арк.

59

На цьому ж аркуші показано схему керування додатковими витяжними вентиляторами В5.2, В5.4 та В5.5 через дискретні виходи контролера [6].

Схема підключення виходів контролера та виконавчих механізмів

Схема на рис. 2.26 описує підключення дискретних та аналогових виходів CPU 1215C. Дискретні виходи (роз'єм X12) керують: проміжними реле К1 та К2 (керування частотними перетворювачами N1 та N2 - пуск/зупинка), реле К3-К5 (контактори ККБ 1-а, 2-а та 3-я ступені), реле К6 (контактор ККБ 4-а ступінь), реле К7 (аварія - лампа HL1), реле К8 (робота - лампа HL4). Аналоговий вихід AQ контролера (роз'єм X11) формує сигнал 0-10 В завдання швидкості на частотні перетворювачі N1 та N2 одночасно. Через окремі аналогові виходи формуються також сигнали керування сервоприводами жалюзі припливу СЖ та витяжки СЖВ (0-10 В) [6, 16].

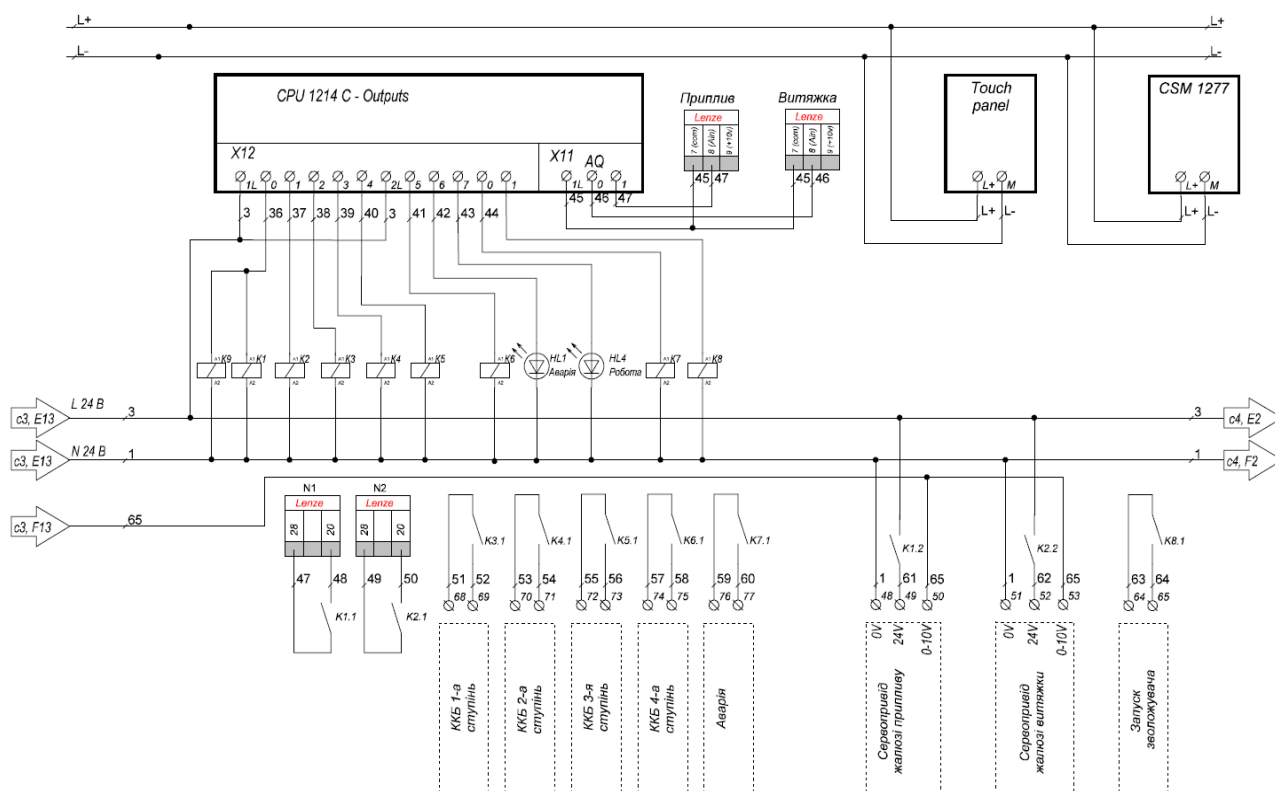
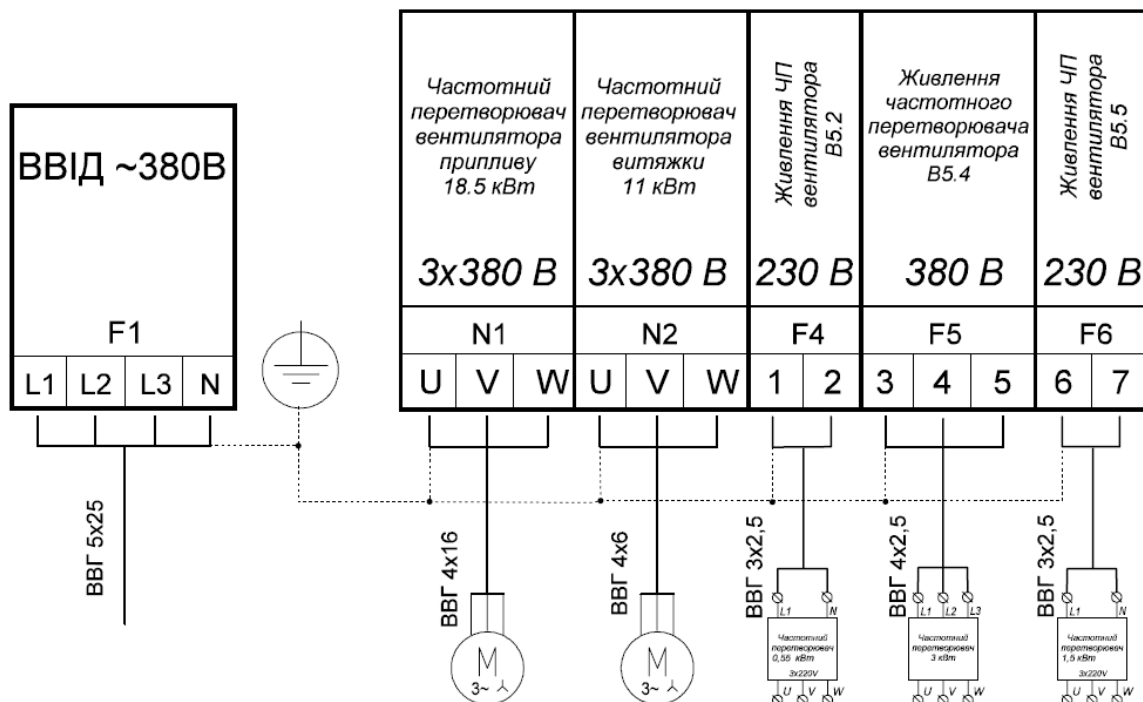


Рисунок 2.26 – Підключення виходів

На цьому ж аркуші показано підключення комутаційного комутатора CSM1277 та панелі оператора KTR400 Basic PN до мережі PROFINET через роз'єм X1 контролера CPU 1215C [6, 9].

Схема підключення польового обладнання

Рисунки 2.27-2.29 містять схеми підключення польового обладнання до клемних колодок щита управління. Схема на рис. 2.27 показує підключення силових кабелів від щита управління до частотних перетворювачів та електродвигунів вентиляторів: ВВГ 5×25 - ввід 380 В, ВВГ 4×16 - до двигуна припливного вентилятора 18,5 кВт, ВВГ 4×6 - до двигуна витяжного вентилятора 11 кВт, ВВГ 3×2,5 та ВВГ 4×2,5 - до додаткових вентиляторів.

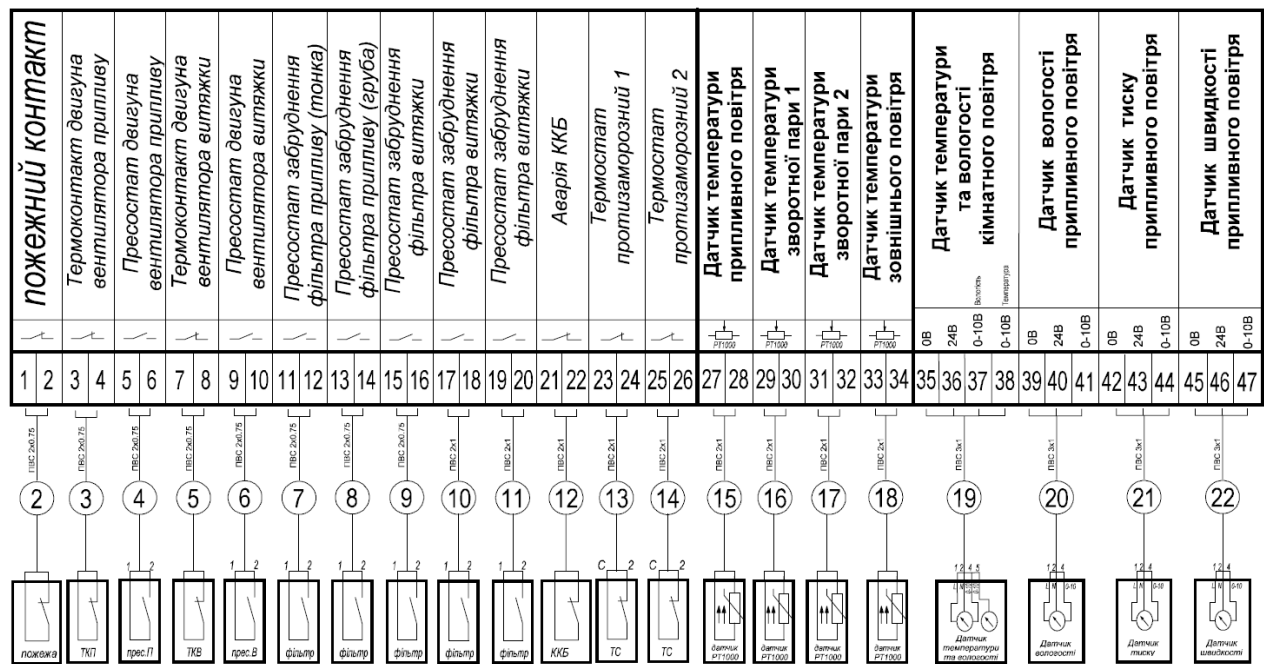


Рисунки 2.27 – Підключення силових кабелів

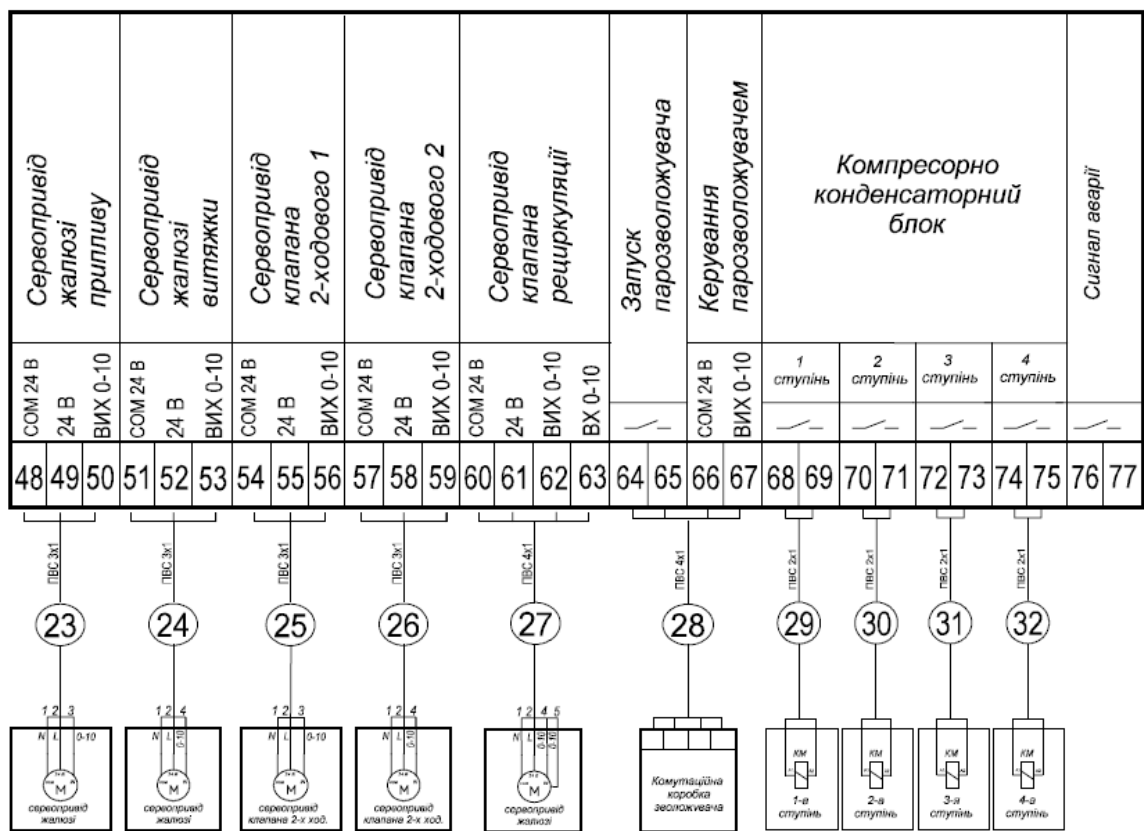
Схема 2.28 містить зведену таблицю підключення приладів до клемних колодок щита з позначенням типу сигналу, номерів клем та типів кабелів. Схема (рис. 2.29) аналогічно описує підключення всіх виконавчих механізмів – сервоприводів жалюзі СЖ, СЖВ, СЖРЦ, клапанів СК1 та СК2, зволожувача, ступенів ККБ та сигналу аварії [6].

Усі кабельні з'єднання між щитом управління та польовим обладнанням виконуються екранованими кабелями для аналогових сигналів та звичайними контрольними кабелями для дискретних сигналів. Екрани аналогових кабелів

заземлюються з одного боку - на клемній колодці щита управління, що забезпечує ефективний захист від електромагнітних завад [4, 6].



Рисунки 2.28 – Підключення приладів



Рисунки 2.29 – Підключення виконавчих механізмів

2.6 Проектування щита управління

Щит управління є центральним конструктивним елементом автоматизованої системи, в якому зосереджено все електричне обладнання – контролер, модулі розширення, блок живлення, апарати захисту та комутаційні елементи. Правильне компонування щита забезпечує зручність монтажу, налагодження та подальшого обслуговування системи [1].

Для розміщення обладнання системи автоматики обрано металевий навісний шафований корпус **CS-108/300** виробництва компанії Hensel з ступенем захисту IP54, що відповідає умовам монтажу у виробничих та технічних приміщеннях. Корпус оснащено прозорими дверцятами для візуального контролю стану індикаторів без відкривання щита та замком для захисту від несанкціонованого доступу. Всередині встановлено DIN-рейки для монтажу обладнання та кабельні канали для організованого прокладання проводів [6].

На лицьовій панелі щита розміщено панель оператора КТР400 Basic PN, кнопки «ПУСК» (SA3) та «СТОП» (SA4), а також індикаторні лампи «Робота» (HL4, зелена) та «Аварія» (HL1, червона). Зовнішній вигляд щита управління та розміщення обладнання наведено на рис. 2.30 [9].

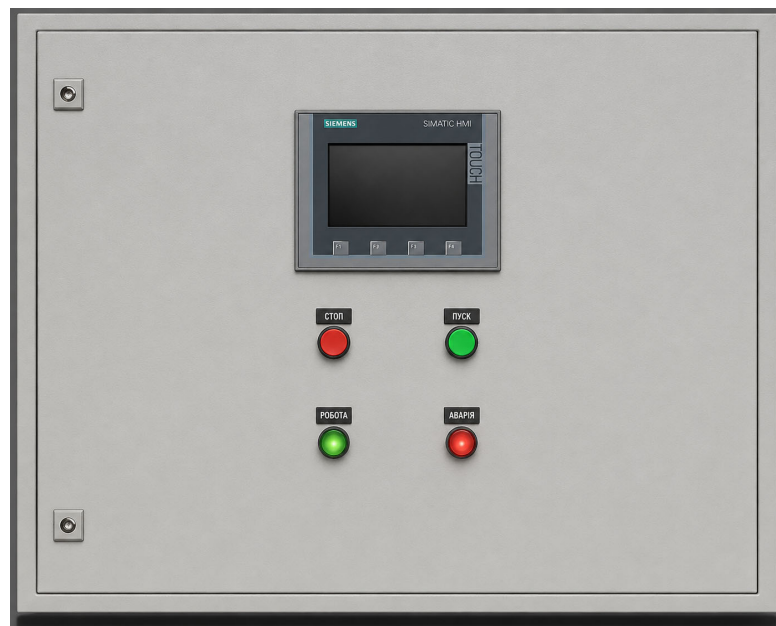


Рисунок 2.30 - Схематичне зображення зовні щита управління АСУ

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

При компонованні щита дотримано принцип розділення силової та слаборумової зон. Силові елементи розміщено у верхній частині щита на першій DIN-рейці: головний автоматичний вимикач F1 (C100/3ф), автоматичні вимикачі F2 (C63/3ф) та F3 (C32/3ф) для живлення частотних перетворювачів основних вентиляторів, вимикачі F4–F6 для додаткових вентиляторів, вимикач кола керування F7 (C10/1ф), трансформатор Т1 (230/24 В) та розетка DIN 230 В для підключення обладнання під час пусконаладжувальних робіт [6], рис.2.31. Частотні перетворювачі Lenze N1 (18,5 кВт) та N2 (11 кВт) монтуються нижче автоматичних вимикачів з дотриманням мінімальних монтажних відстаней відповідно до вимог технічної документації виробника - не менше 100 мм зверху та знизу і 30 мм з боків для забезпечення достатньої вентиляції [24].

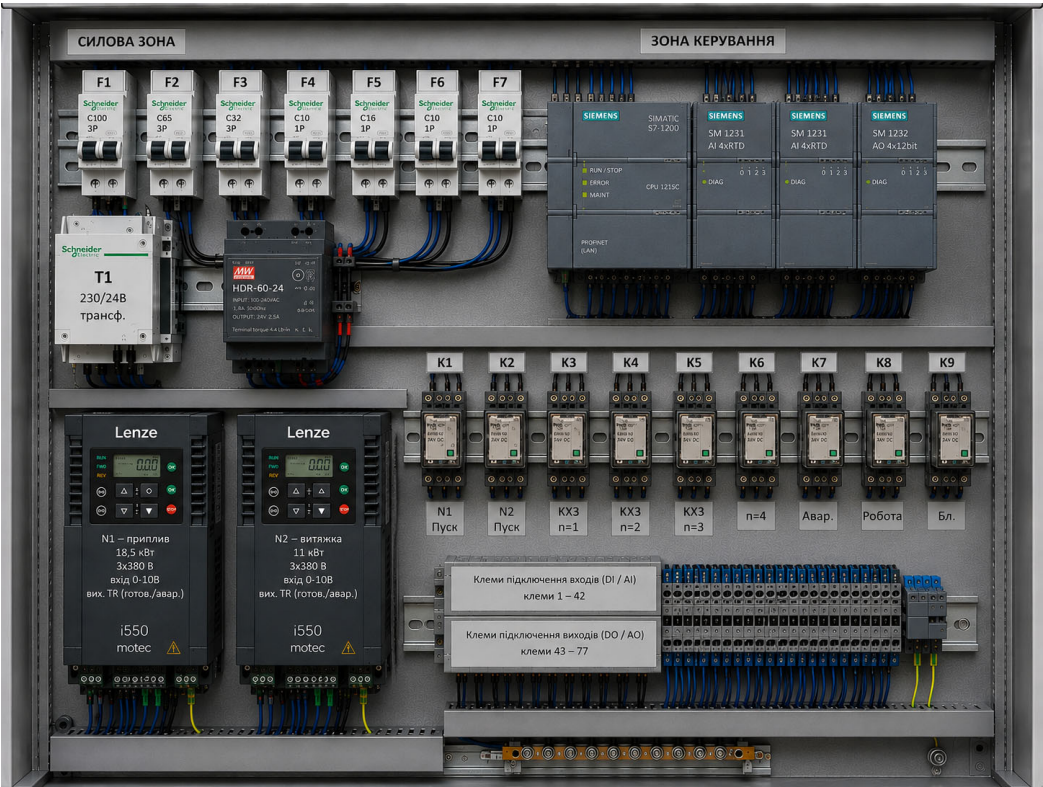


Рисунок 2.31 - Зображення внутрішньої частини щита управління

Між силовою та слаборумовою зонами встановлено металеву перегородку для зниження впливу електромагнітних завад від силових кіл на роботу контролера [4]. Обладнання керування розміщено нижче перегородки на другій та третій DIN-рейках: блок живлення PM1207, контролер CPU 1215C з модулями SM1231 (×2) та SM1232, а також проміжні реле K1–K9 з монтажними колодками [11, 25, 26].

Для підключення зовнішніх кабелів від польового обладнання застосовуються пружинні клемні колодки Phoenix Contact серії PTFIX, згруповані за функціональним призначенням: окремі групи для живлення ~24 В, дискретних входів (клеми 1–47), дискретних виходів, аналогових входів та аналогових виходів (клеми 48–77). Клеми промарковано відповідно до нумерації в схемі підключення. Нумерація наноситься безпосередньо на корпус клеми маркувальною стрічкою.

Кабельні канали для силових та слаборумових кіл прокладено окремо, а кабельні вводи розміщено у нижній частині корпусу. Все обладнання в щиті промарковано відповідно до схеми електричної принципової - кожен елемент оснащено табличкою з позиційним позначенням, що відповідає позначенню на схемі; проводи марковані з обох кінців термоусадочними трубками.

2.7 Розроблення алгоритмів управління установкою

Алгоритм управління припливно-витяжною установкою є центральною частиною програмного забезпечення контролера і визначає логіку роботи системи в усіх режимах експлуатації. Загальний алгоритм наведено на рис. 2.32. При його розробленні враховано вимоги до автоматичного підтримання параметрів мікроклімату, захисту обладнання від аварійних ситуацій та зручності оперативного управління [1, 4].

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

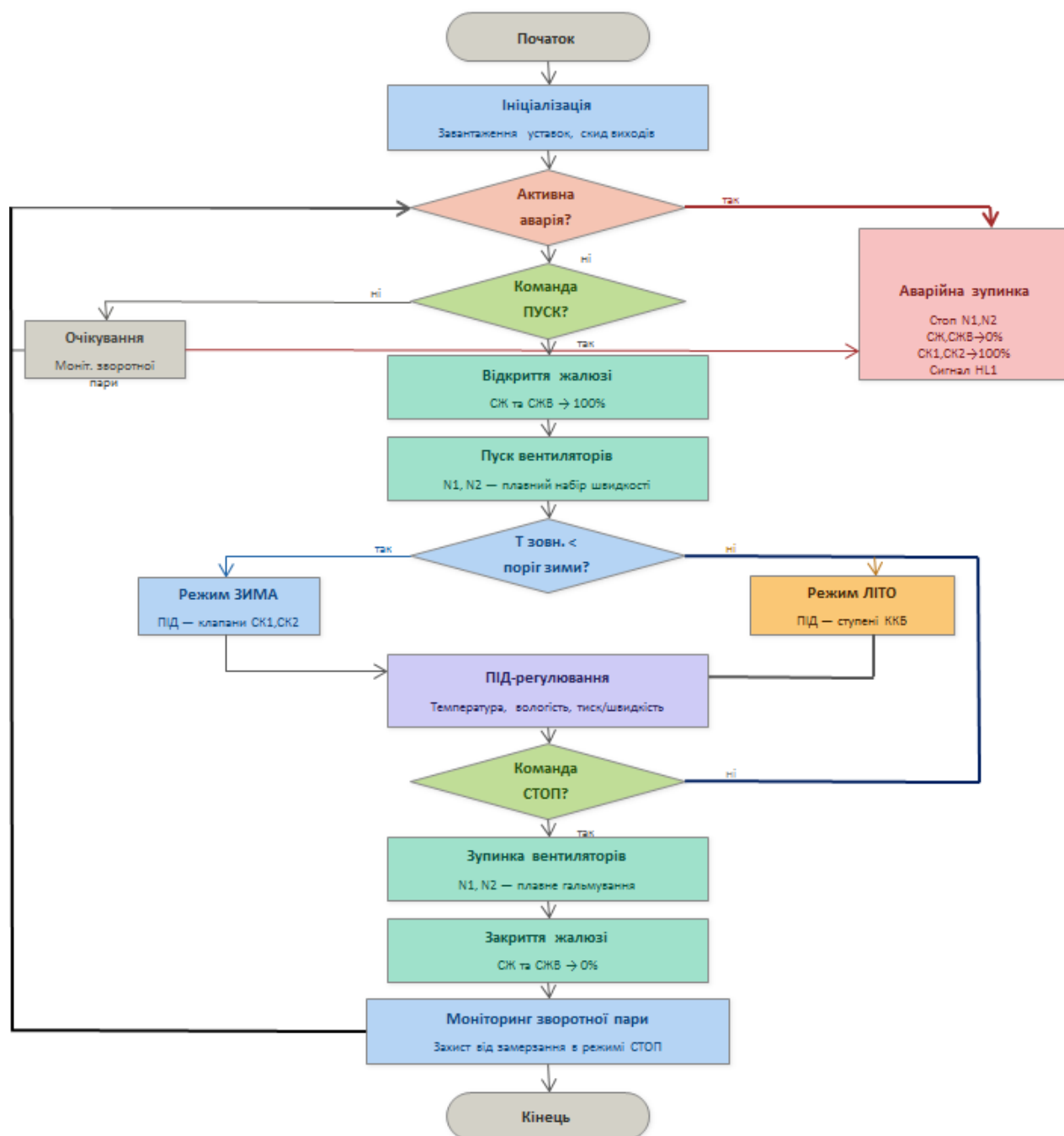


Рисунок 2.32 – Блок-схема загального алгоритму управління

Загальний алгоритм реалізує послідовне виконання таких основних етапів: ініціалізація системи при подачі живлення; режим очікування з моніторингом захисних функцій; пуск установки; автоматичне регулювання параметрів мікроклімату; зупинка установки. Паралельно з основним циклом

безперервно виконується алгоритм аварійного захисту, що має найвищий пріоритет і може перервати виконання будь-якого іншого алгоритму [6].

Ініціалізація системи. При подачі живлення контролер виконує одноразову ініціалізацію: завантажує збережені уставки регулювання з енергонезалежної пам'яті, встановлює початкові значення виходів та ініціалізує ПІД-регулятори. Жалюзі залишаються закритими, клапани калориферів встановлюються в мінімальне положення. Після завершення ініціалізації система переходить у режим очікування [6].

Режим очікування. В режимі очікування вентилятори зупинені та жалюзі закриті. Незважаючи на зупинку вентиляції, контролер безперервно контролює температуру зворотної пари калориферів (датчики ДТП1 та ДТП2) для захисту від замерзання в зимовий період. При критичному зниженні температури клапани СК1 та СК2 автоматично відкриваються на 100% незалежно від стану установки. Перед виконанням команди ПУСК контролер перевіряє відсутність активних аварій — за їх наявності пуск блокується до усунення причини [6].

Пуск установки. Пуск ініціюється натисканням кнопки SA3 або командою з панелі НМІ. Алгоритм пуску виконує послідовно: відкриття жалюзі припливу (СЖ) та витяжки (СЖВ); подачу команди пуску на частотні перетворювачі N1 та N2 з плавним набором швидкості; активацію алгоритмів ПІД-регулювання [6, 24].

Визначення сезону та автоматичне регулювання. Після пуску контролер визначає сезон роботи шляхом порівняння поточної температури зовнішнього повітря (датчик ДТЗ) з налаштованим порогом переходу між сезонами. В режимі «ЗИМА» реалізується ПІД-регулювання температури припливного повітря шляхом керування положенням клапанів парових калориферів СК1 та СК2. Завдання на температуру формується каскадно: зовнішній контур визначає необхідну температуру припливного повітря виходячи із заданої кімнатної температури та налаштованої дельти між ними;

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

внутрішній контур підтримує цю температуру за показаннями датчика ДТІ. В режимі «ЛІТО» охолодження здійснюється за допомогою ККБ шляхом послідовного вмикання чотирьох ступенів охолодження з витримкою затримки 2 хвилини між ступенями [6].

Паралельно з регулюванням температури контролер реалізує ПД-регулювання вологості припливного повітря (датчик ДВП) шляхом керування клапаном зволожувача, а також регулювання продуктивності вентиляторів за показаннями датчика тиску (ДТ) або швидкості (ДШ) залежно від налаштованого алгоритму [6].

Зупинка установки. При надходженні команди СТОП контролер виконує: плавну зупинку вентиляторів N1 та N2 через частотні перетворювачі; закриття жалюзі СЖ та СЖВ. Після зупинки система переходить у режим очікування з продовженням моніторингу зворотної пари калориферів [6].

Аварійний захист. Алгоритм аварійного захисту виконується безперервно та незалежно від поточного стану установки. При спрацюванні будь-якого захисту - термостатів ТС1/ТС2, термоконтактів двигунів, пожежного контакту або аварії ККБ — контролер негайно зупиняє вентилятори, закриває жалюзі, відкриває клапани калориферів на 100% (при загрозі замерзання) та вмикає аварійну лампу HL1. Повторний пуск можливий лише після усунення причини аварії та її скасування через меню НМІ [6].

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА НАЛАГОДЖЕННЯ СИСТЕМИ

3.1 Середовище програмування TIA Portal

Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) – це єдине інженерне середовище компанії Siemens, що об'єднує в одному програмному пакеті інструменти для конфігурування апаратної частини, розроблення програм контролерів, налаштування комунікацій та створення проектів панелей оператора НМІ [11]. Застосування TIA Portal суттєво спрощує процес розроблення АСУ порівняно з використанням окремих спеціалізованих програм, оскільки всі складові проекту доступні з єдиного інтерфейсу, а теги контролера автоматично доступні при розробленні екранів НМІ без необхідності їх повторного визначення [12].

Структура проекту TIA Portal. Проект TIA Portal має деревоподібну структуру, що відображається у лівій панелі «Project tree». Для розроблюваної АСУ проект містить два пристрої: PLC_1 (CPU 1215C DC/DC/Rly) та HMI_1 (KTP400 Basic PN), з'єднані між собою через мережу PROFINET PN/IE_1. Дерево проекту PLC_1 включає такі основні вузли: Device configuration (апаратна конфігурація), Program blocks (програмні блоки), PLC tags (таблиці тегів), PLC data types (типи даних), Watch and force tables (таблиці моніторингу та примусового встановлення значень), Online backups (резервні копії) та Traces (осцилограф).

Мови програмування. TIA Portal підтримує п'ять мов програмування відповідно до стандарту IEC 61131-3 [4]: LAD (Ladder Diagram) — мова релейних схем, що є найбільш поширеною серед спеціалістів із промислової автоматизації; FBD (Function Block Diagram) – мова функціональних блокових діаграм, зручна для реалізації алгоритмів обробки аналогових сигналів; SCL

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

(Structured Control Language) – мова структурованого тексту, подібна до Pascal, що дозволяє реалізовувати складні алгоритми в компактній формі; STL (Statement List) – мова списку операторів низького рівня; GRAPH – мова послідовних функціональних схем для програмування покрокових процесів.

У даному проекті основним інструментом є мова LAD, яка забезпечує наочне відображення алгоритмів логічного керування та захисту. Для реалізації алгоритмів обробки аналогових сигналів та обчислювальних операцій застосовується SCL, а ПІД-регулятори реалізовані засобами FBD із використанням вбудованих технологічних об'єктів PID_Compact [11, 12].

Структура програмних блоків

Програма контролера побудована за модульним принципом і складається з організаційних блоків (OB), функцій (FC) та функціональних блоків (FB). Організаційні блоки викликаються операційною системою контролера автоматично відповідно до заданих умов і є точками входу для виконання програми користувача [11].

В рамках розроблюваного проекту застосовуються такі типи організаційних блоків. OB1 (Program cycle) є головним циклічним блоком, що виконується з кожним циклом сканування контролера. Він містить виклики всіх функцій системи та забезпечує детерміноване виконання алгоритмів управління. OB100 (Startup) виконується одноразово при переході контролера з режиму STOP до RUN та призначений для початкової ініціалізації змінних і уставок. Cyclic interrupt OB є блоком з циклічним перериванням фіксованого часового інтервалу, що забезпечує рівномірний виклик ПІД-регуляторів незалежно від часу виконання основного циклу [11].

Функції FC є програмними блоками без власної пам'яті, що реалізують алгоритми управління окремими технологічними вузлами. У проекті реалізовано такі функції: FC25 (AV_dat) – нормування та фільтрація аналогових сигналів датчиків; FC50–FC53 (AV_dat_1–4) – алгоритми управління нагрівачами, ККБ, зволожувачем та рециркуляцією відповідно;

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

FC60, FC61, FC71 (AV_dat_5-7) – управління додатковими вентиляторами та аварійний захист, рис. 3.1.

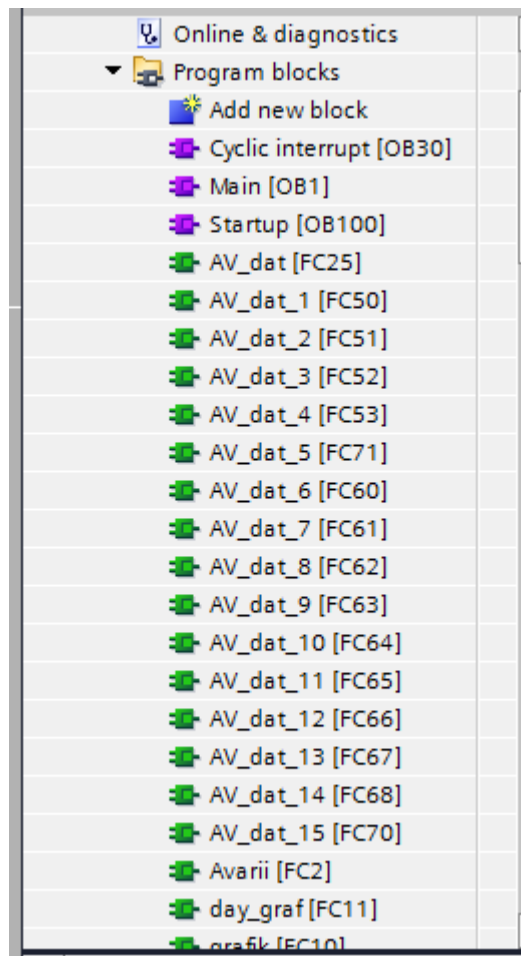


Рисунок 3.1 – Приклад структури проекту

Таблиці тегів

Всі змінні програми визначаються в таблицях тегів PLC tags, де кожному тегу призначається символічне ім'я, тип даних та адреса в пам'яті контролера. Застосування символічних імен замість абсолютних адрес значно підвищує зручність читання та налагодження програми, рис.3.2. Таблиця Default tag table містить 194 теги, що охоплюють всі входи та виходи контролера, внутрішні змінні алгоритмів управління, уставки регулювання та діагностичні змінні.

Уставки регулювання, що можуть змінюватися оператором через панель HMI, визначено як теги типу REAL з атрибутом Retain — це забезпечує

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

збереження їх значень в енергонезалежній пам'яті контролера при відключенні живлення та відновлення після повторного увімкнення [11].

	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	C...
28	T_room12	Default tag table	Int	%IW80	☐	☒	☒	☒	
29	T_room14	Default tag table	Int	%IW82	☐	☒	☒	☒	
30	T_room30	Default tag table	Int	%IW84	☐	☒	☒	☒	
31	T_room22	Default tag table	Int	%IW86	☐	☒	☒	☒	
32	T_room25	Default tag table	Int	%IW88	☐	☒	☒	☒	
33	DP2	Default tag table	Int	%IW104	☐	☒	☒	☒	
34	DP4	Default tag table	Int	%IW106	☐	☒	☒	☒	
35	DP5	Default tag table	Int	%IW108	☐	☒	☒	☒	
36	DP6	Default tag table	Int	%IW110	☐	☒	☒	☒	
37	DP11	Default tag table	Int	%IW120	☐	☒	☒	☒	
38	DP10	Default tag table	Int	%IW122	☐	☒	☒	☒	
39	DP12	Default tag table	Int	%IW124	☐	☒	☒	☒	
40	DP14	Default tag table	Int	%IW126	☐	☒	☒	☒	
41	DP30	Default tag table	Int	%IW128	☐	☒	☒	☒	
42	DP22	Default tag table	Int	%IW130	☐	☒	☒	☒	
43	DP25	Default tag table	Int	%IW132	☐	☒	☒	☒	
44	Set2	Default tag table	Int	%QW68	☐	☒	☒	☒	
45	Set3	Default tag table	Int	%QW70	☐	☒	☒	☒	
46	Set4	Default tag table	Int	%QW72	☐	☒	☒	☒	
47	Set5	Default tag table	Int	%QW74	☐	☒	☒	☒	
48	Set6	Default tag table	Int	%QW82	☐	☒	☒	☒	
49	Set7	Default tag table	Int	%QW84	☐	☒	☒	☒	

Рисунок 3.2 – Таблиці тегів

Інструменти налагодження

TIA Portal надає широкий набір інструментів для налагодження програми. Watch and force tables дозволяють в режимі онлайн відстежувати поточні значення довільного набору тегів, а також примусово встановлювати значення змінних для перевірки реакції системи. Інструмент Traces реалізує функцію осцилографа — безперервного запису значень обраних тегів з налаштованим часовим інтервалом, що є особливо корисним при налагодженні ПІД-регуляторів [11, 28].

Функція Online & diagnostics забезпечує відображення поточного стану контролера, стану модулів розширення, буферу діагностики та мережевих з'єднань. При виникненні апаратних несправностей або помилок програми відповідні записи автоматично вносяться до діагностичного буфера з часовою міткою, що суттєво спрощує пошук та усунення несправностей [11].

3.2 Програмування контролера мовою LAD

Програмне забезпечення контролера Simatic S7-1200 розроблено в середовищі TIA Portal мовою LAD. Програма побудована за модульним принципом і складається з трьох організаційних блоків та 57 функцій. Модульний підхід до організації програмного забезпечення є ключовим принципом проектування АСУ, оскільки він забезпечує незалежне тестування та налагодження кожного підалгоритму, спрощує внесення змін без ризику порушення роботи інших частин програми, а також підвищує читабельність та зручність подальшого супроводу системи [12].

Організаційні блоки та загальна структура виконання

Організаційний блок *OB100 (Startup)* є блоком ініціалізації, що виконується контролером одноразово при переході з режиму STOP до RUN — незалежно від причини перезапуску. Блок має два вхідні параметри типу Bool: *LostRetentive*, що сигналізує про втрату Retentive-змінних (наприклад, при розряді буферної батареї), та *LostRTC*, що вказує на втрату значень годинника реального часу. Аналіз цих параметрів дозволяє програмі визначити причину перезапуску та за потреби виконати відновлення уставок зі значень за замовчуванням [11], рис.3.3.

Startup Properties							
General							
Name	Startup	Number	100	Type	OB	Language	LAD
Numbering	Automatic						
Information							
Title	"Complete Restart"	Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					
Name		Data type	Default value	Supervision	Comment		
▼ Input							
LostRetentive		Bool			True if retentive data are lost		
LostRTC		Bool			True if date and time are lost		
Temp							
Constant							

Рисунок 3.3 - Властивості блоку Startup [OB100]

Організаційний блок *OB30 (Cyclic interrupt)* є основним виконавчим блоком системи — він викликається апаратним перериванням з фіксованим

часовим інтервалом незалежно від часу виконання циклу OB1. Це забезпечує суворо рівномірний виклик алгоритмів регулювання, що є критично важливим для стабільної роботи ПІД-регуляторів. Блок містить 19 мереж, у яких послідовно викликаються всі ключові функції системи: FC23 (Retsyrkulatsia), FC13 (Nagriv), FC54 (Nagriv_1), FC18 (Invertor), FC12 (T_for_sp), FC19 (KKB) та інші.

Організаційний блок *OB1 (Main)* реалізований як «Main Program Sweep (Cycle)» і виконується в основному циклі сканування контролера. Він містить 16 мереж, у яких виконується нормування вхідних аналогових сигналів та виклики функцій обробки даних для окремих зон будівлі. У мережах 1-3 здійснюється масштабування аналогових сигналів через функцію FC3 (Scale_Int2Real): мережа 1 – нормування сигналу кімнатної температури (адреса %IW66, T_room), мережа 2 – нормування завдання на температуру (%IW96), мережа 3 - нормування сигналу виходу (%IW102). У мережах 4–9 нормуються сигнали температури зворотної пари RW1 (%IW98) та RW2 (%IW100), вологості (%IW112, Hum_for), вологості кімнатного повітря (%IW64, Hum_room), тиску повітря (%IW114, P_for) та швидкості повітря (%IW116). Мережі 10–16 містять виклики функцій: FC4 (Norm_distributed I/O), FC1 (start), FC2 (Avarii), FC7 (Sezone), FC9 (Pusk_DMPR), FC10 (grafik) та FC24 (Outputs).

Функції масштабування сигналів

Для перетворення сигналів між різними форматами та діапазонами розроблено чотири допоміжні функції масштабування, що широко застосовуються по всій програмі.

Функція *FC3 (Scale_Int2Real)* виконує лінійне перетворення цілочисельного значення аналогового входу контролера (тип INT, стандартний діапазон 0-27648) у фізичну величину у форматі REAL. Параметри функції: Int (вхідне ціле значення), Int_max та Int_min (межі цілочисельного діапазону), Real_max та Real_min (межі фізичного діапазону), Real (вихідне значення у

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

фізичних одиницях). Функція застосовується при нормуванні всіх аналогових вхідних сигналів — температур, вологості, тиску та швидкості повітря.

Функція *FC5 (Scale_Real2Int)* виконує зворотне перетворення — фізичної величини у форматі REAL до цілочисельного значення INT для запису до аналогового виходу контролера.

Функція *FC6 (Scale_Real2Real)* виконує лінійне масштабування між двома діапазонами у форматі REAL і реалізована через стандартні інструкції NORM_X (нормалізація до діапазону 0–1) та SCALE_X (масштабування до вихідного діапазону), рис.3.4. Ця функція має лише 2 мережі, проте використовується повсюдно в програмі — зокрема, для перетворення нормованого сигналу ПІД-регулятора у відсоток відкриття клапана або завдання на частотний перетворювач [11].

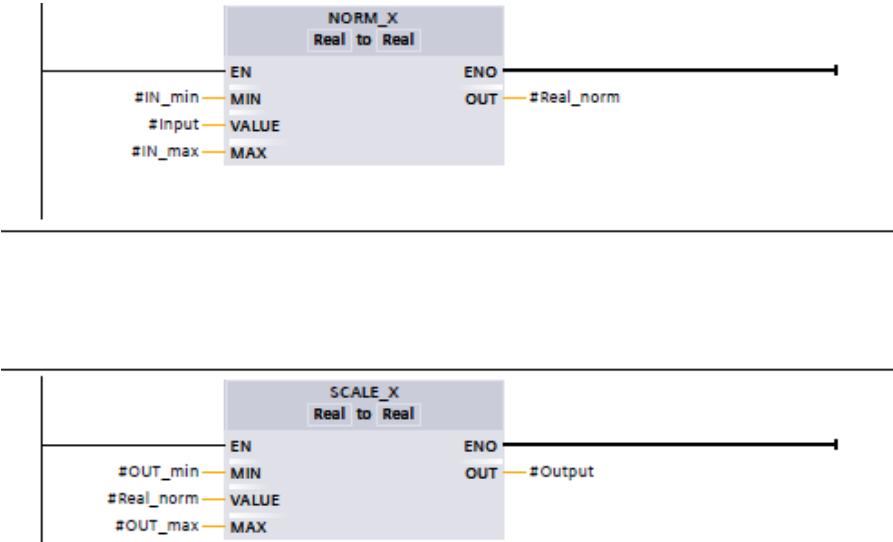


Рисунок 3.4 – Властивості та мережі функції Scale_Real2Real (FC6)

Функція *FC37 (Scale_Real2Real_Limits)* є розширеною версією FC6 з додатковими вхідними параметрами IN_max та IN_min для контролю виходу вхідного сигналу за допустимі межі та формуванням аварійного булевого сигналу Output при перевищенні. Це дозволяє одночасно масштабувати сигнал та виявляти несправності датчика (вихід за межі робочого діапазону) без написання додаткового коду [11].

Функція пуску FC1 (start) та управління клапанами FC9 (Pusk_DMPR)

Функція *FC1 (start)* реалізує логіку запуску та зупинки установки. Алгоритм аналізує наявність дозволу на роботу (відсутність аварій, відкриті клапани, готовність частотних перетворювачів) і формує команди пуску вентиляторів. Функція *FC9 (Pusk_DMPR)* управляє повітряними клапанами (демпферами) – відкриває жалюзі СЖ та СЖВ при команді пуску і закриває при зупинці або аварії, з контролем зворотного сигналу підтвердження положення.

Функція визначення сезону FC7 (Sezone)

Функція визначення сезону аналізує поточну температуру зовнішнього повітря та порівнює її з налаштованими порогами переходу між сезонами. Результатом є дискретна змінна типу Bool, що визначає активний режим роботи системи - «ЗИМА» або «ЛІТО». Для запобігання частому перемиканню при температурах, близьких до порогового значення, реалізовано гістерезис: поріг переходу в режим «ЛІТО» вищий за поріг повернення до режиму «ЗИМА» [6].

Функція графіку роботи FC10 (grafik) та добового графіку FC11 (day_graf)

Функція *FC10 (grafik)* реалізує тижневий розклад роботи системи, викликаючи функцію *FC11 (day_graf)* окремо для кожного дня тижня з відповідними уставками часу вмикання та вимикання. Функція *FC11* викликається з параметрами конкретного дня – середи (sereda), четверга (chetver), п'ятниці (piatnytsia) тощо – кожен з яких має власні уставки Hour_on, Hour_off, Min_on, Min_off. Функція *FC11* реалізована в LAD і в мережах 1-2 порівнює поточний час годинника реального часу контролера (HOUR, MINUTE) з уставками вмикання та вимикання, а в мережах 3-4 формує вихідний статус роботи та керує внутрішнім бітом стану [6], рис. 3.5.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

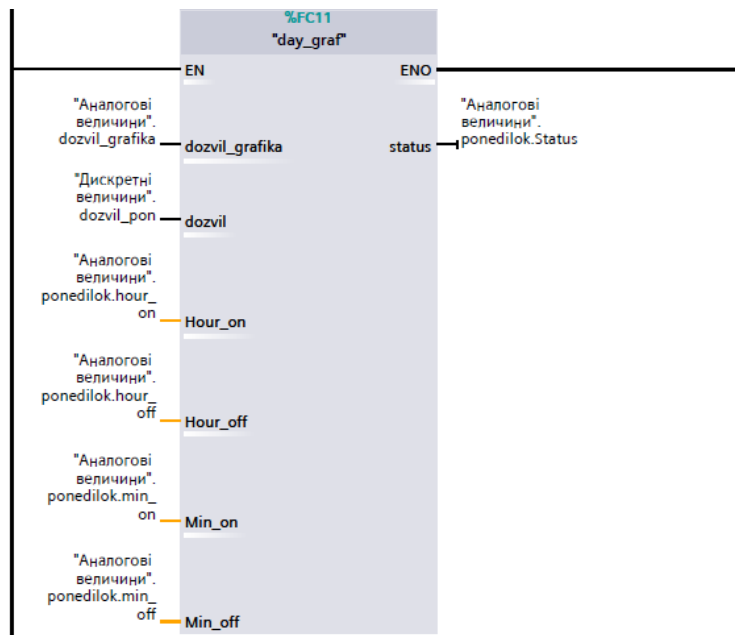


Рисунок 3.5 – Функція day_graf [FC11]

Функція формування завдання FC12 (T_for_sp)

Функція формування завдання на температуру реалізує каскадний алгоритм визначення необхідної температури припливного повітря. Зовнішній контур обчислює різницю між поточною кімнатною температурою та заданим значенням і на основі цього відхилення коригує завдання на температуру припливного повітря. Результуюче завдання обмежується налаштованими значеннями мінімуму та максимуму (10-40 °C) і передається до функцій управління нагрівачем або ККБ залежно від активного сезону [6].

Функції управління нагрівачами FC13 (Nagriv) та FC54 (Nagriv_1)

Функції FC13 та FC54 реалізують алгоритм управління першим та другим паровими калориферами відповідно, рис. 3.6. В мережах 5-9 функції FC54 (Nagriv_1), реалізовано: мережа 5 – передача завдання ПІД-регулятору через інструкцію MOVE (параметр CtrlParamsBackUp.p.Ti); мережа 6 – масштабування положення клапана через FC37 (Scale_Real2Real_Limits) з параметрами T_out_kl1 та обмеженнями Min_Klapan_t та OUT_max/OUT_min; мережа 7 – вибір між двома значеннями мінімального положення клапана залежно від сезону за допомогою інструкції SEL Real (вибір між klapan2_1 та

0.0 залежно від умови «sezone»); мережа 8 – аналогічно для другого варіанту мінімального положення; мережа 9 – перетворення нормованого значення завдання Klapan_Nagriv_1 через FC6 (Scale_Real2Real) з діапазоном 0–100% до виходу Klapan_Nagriv_ [6, 11].

Важливою функцією захисту є відкриття клапана до 100% при критичному зниженні температури зворотної пари – цей алгоритм реалізовано у функції FC17 (klapan100), яка викликається з FC13 та FC54 при досягненні аварійної температури.

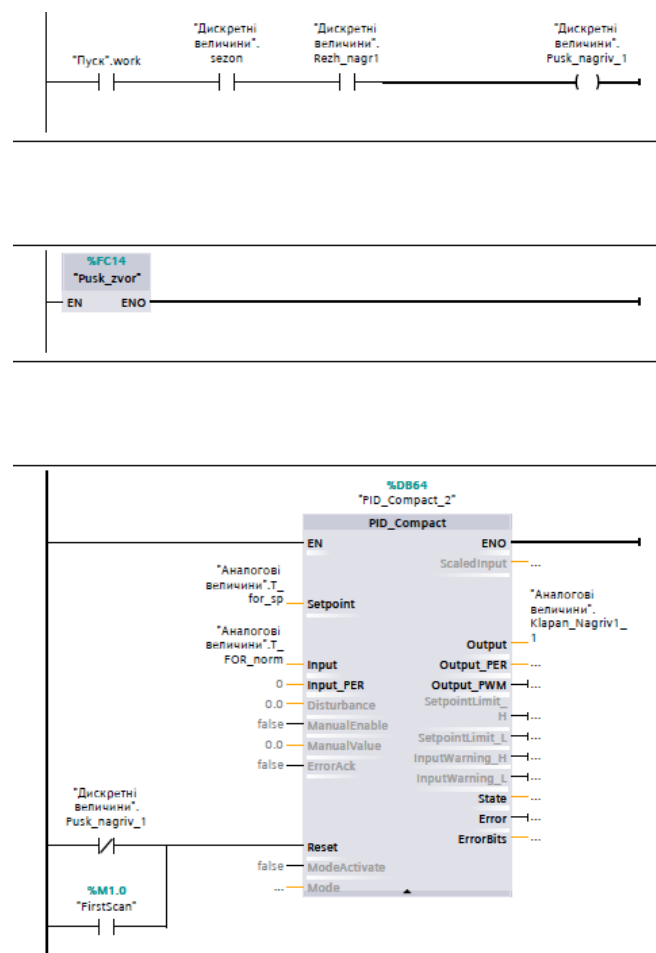


Рисунок 3.6 - Функція Nagriv_1 [FC54]

Функції управління частотними перетворювачами FC18 (Invertor) та FC15 (Invertor_reg)

Функція FC18 (Invertor) реалізує повний алгоритм управління частотними перетворювачами Lenze N1 (приплив, 18,5 кВт) та N2 (витяжка, 11

кВт). Алгоритм включає контроль сигналів готовності (TR1, TR2) від частотних перетворювачів, плавний пуск з моніторингом часу набору швидкості, захист від повторного пуску до повної зупинки та формування аварійного сигналу при відсутності підтвердження протягом налаштованого часу [6, 24]. Функція *FC15 (Invertor_reg)* реалізує ПІД-регулювання продуктивності вентиляторів за показаннями датчика тиску (ДТ, адреса %IW114) або швидкості (ДШ, адреса %IW116) залежно від обраного алгоритму в меню НМІ.

Функція управління ККБ FC19 (ККВ) та FC20 (ККВ_SET)

Функція *FC19 (ККВ)* реалізує алгоритм управління чотирма ступенями охолодження компресорно-конденсаторного блоку. Вмикання ступенів відбувається послідовно при перевищенні порогів умовної потужності, а вимикання — при зниженні нижче порогів з урахуванням гістерезису. Між вмиканням суміжних ступенів витримується мінімальна пауза 2 хвилини, що реалізується таймерами TON [6]. Функція *FC20 (ККВ_SET)* забезпечує налаштування уставок вмикання та вимикання кожного ступеня, а функція *FC21 (on_stupin)* реалізує логіку почергового вмикання ступенів з урахуванням налаштованих затримок.

Функція аварійного захисту FC2 (Аварії)

Функція аварійного захисту є найбільш розгалуженою у програмі - вона містить 33 мережі та здійснює комплексний моніторинг усіх захисних датчиків та сигналів системи, рис. 3.7. В мережах 5-6 реалізовано обробку сигналів термостатів TC1 (%I1.1) та TC2 (%I1.2) з затримкою спрацювання через таймери TON (DB814 та DB815) з часом витримки 1 хв 42 с (1#2s_0ms) для фільтрації короткочасних спрацювань. В мережах 7-8 застосовується функція *FC37 (Scale_Real2Real_Limits)* для контролю температури зворотної пари RW1 та RW2 - при виході за допустимі межі формується аварійний сигнал RW1_alarm та RW2_alarm. В мережі 9 реалізовано контроль температури

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

зворотної пари RW1 зі стандартним порівнянням типу Real з формуванням аварії «Аварія».A_RW1 [6].

У функції Аварії реалізовано передачу аварійних сигналів до внутрішніх маркерних бітів: «Аварія».A_dat_VOL_for → %M3.0 «A_dat_VOL_for», «Аварія».A_dat_VOL_room → %M3.1 «A_dat_VOL_room», «Аварія».A_filter_PV → %M3.2 «A_filter_PV».

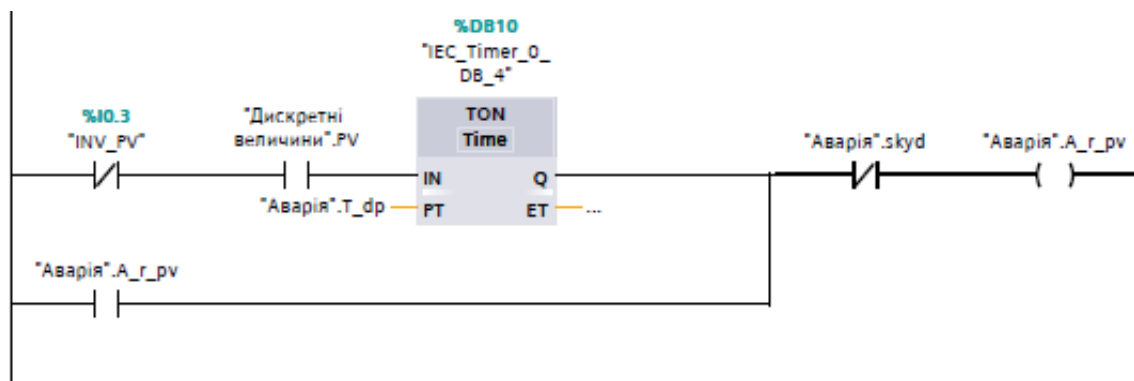


Рисунок 3.7 – Функція Аварії [FC2]

Функції рециркуляції FC23 та зволожувача FC57

Функція *FC23 (Retsyrkulatsia)* керує положенням заслінки рециркуляції (сервопривід СЖРЦ) шляхом формування аналогового сигналу 0-10 В залежно від поточного теплового навантаження та активного сезону. В зимовому режимі збільшення частки рециркульованого повітря знижує навантаження на калорифер; в літньому - рециркуляція обмежується для запобігання перегріву приміщення [6]. Функція *FC57 (Zvolozhuvach)* реалізує ПІД-регулювання вологості припливного повітря шляхом керування аналоговим виходом клапана зволожувача (сигнал 0-10 В), а функція *FC58 (V_for_sp)* формує завдання на вологість для функції зволожувача.

Функція формування виходів FC24 (Outputs)

Функція *FC24 (Outputs)* є фінальною ланкою в ланцюжку обробки сигналів і збирає результати роботи всіх алгоритмів управління, формуючи фізичні сигнали на виходи контролера, рос. 3.8. Функція реалізована мовою

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

LAD і в мережі 1 через таймери TON (DB882, DB883) та TP формує мигаючий сигнал для аварійної лампи HL1 при активній аварії (умова: «Аварія».filter_PV, «Аварія».A_kkb, «Аварія».filter_V) з урахуванням сигналів «Дискретні величини».Lamp_A1. В мережі 2 здійснюється пряма передача сигналу «Аварія».Alarm до лампи Lamp_A2. В мережі 3 формується результуючий сигнал лампи (Lamp_A1 OR Lamp_A2 → «Дискретні величини».Lamp_A). В мережі 4 сигнал лампи записується до фізичних виходів: %Q0.6 «HL_Alarm» та %Q1.0 «Alarm» [6, 11].

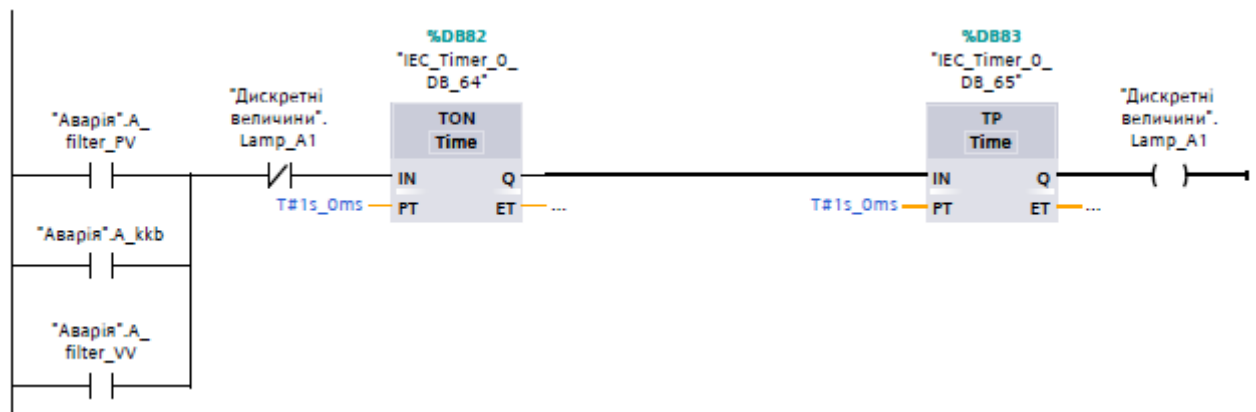


Рисунок 3.8 – Функції Outputs [FC24]

Функції обробки даних аналогових виходів AV_dat

Група функцій AV_dat (FC25, FC50–FC53, FC60–FC71) реалізує обробку та передачу даних аналогових виходів для окремих зон та приміщень будівлі, рис. 3.9. Кожна функція AV_dat має уніфікований інтерфейс: вхідний параметр DAT типу Real (нормоване значення завдання), InOut-параметри A_dat_obr та A_dat_kor типу Bool для відстеження стану обробки. У функції FC51 (AV_dat_2) в мережах 1-2 реалізовано контроль швидкості руху повітря («Аварія».skyd) через таймери TON (DB824, DB825) з часом витримки 2 хвилини та порогом 70.0 – при виході значення за межі і відсутності підтвердження протягом заданого часу формуються сигнали #A_dat_obr та #A_dat_kor [6].

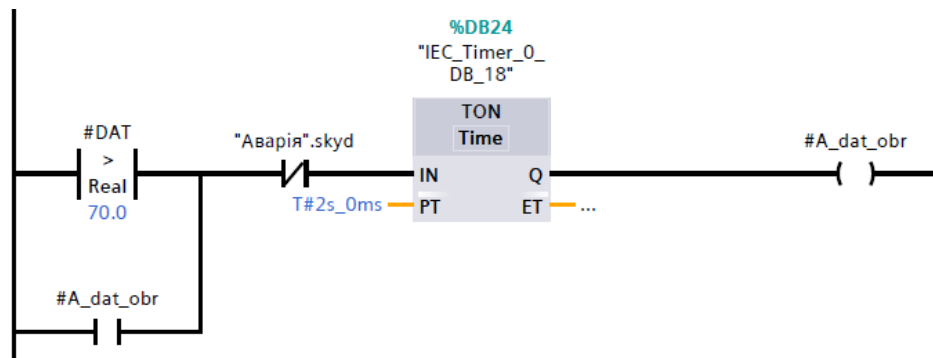


Рисунок 3.9 – Функція AV_dat_2 [FC51]

Функції управління зонами Room

Група функцій FC26–FC36 (Room4–Room22) реалізує індивідуальне управління параметрами мікроклімату в окремих зонах будівлі, рис. 3.10. Кожна функція Room викликає FC38 (Room_mode) для визначення поточного режиму роботи зони, після чого за допомогою інструкції SEL Real вибирає між нормованим значенням температури (room_norm) та заданим значенням (T_room_set) залежно від активного режиму – нормального або економного [6]. В мережі 1 відбувається виклик FC38 (Room_mode) з параметрами room11_norm та T_room_set, а в мережах 2–3 за допомогою SEL Real формуються завдання на уставку SP11 та вхід IN11 для підсистеми VAV (Variable Air Volume) відповідної зони.

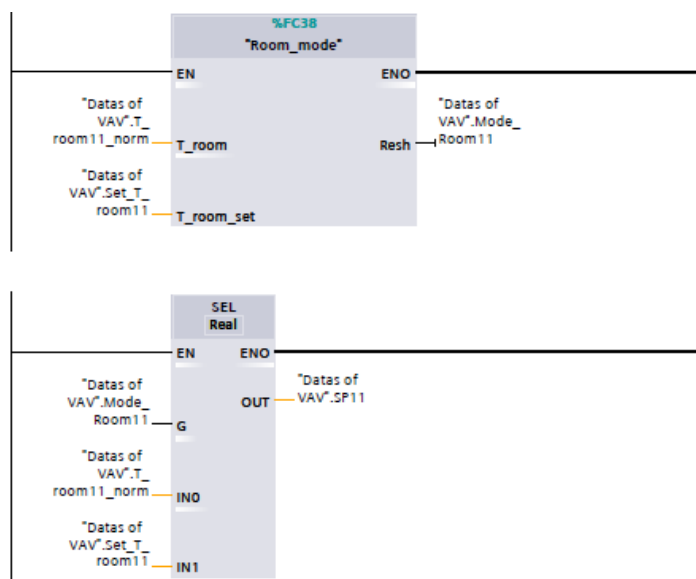


Рисунок 3.10 – Функція Room11 [FC31]

Таким чином, програмне забезпечення контролера реалізує повний та узгоджений набір алгоритмів управління всіма підсистемами припливно-втяжної вентиляційної установки, забезпечує надійний захист обладнання від аварійних ситуацій та підтримує гнучке налаштування режимів роботи через параметри функцій [4, 6, 11].

3.3 Реалізація ПІД-регулювання температури

ПІД-регулювання є основним методом автоматичного підтримання параметрів мікроклімату в розроблюваній системі. Пропорційно-інтегрально-диференційний (ПІД) регулятор формує керуючий вплив на виконавчий механізм таким чином, щоб мінімізувати відхилення регульованої величини від заданого значення з урахуванням поточного відхилення (пропорційна складова), накопиченої похибки за час (інтегральна складова) та швидкості зміни відхилення (диференційна складова) [4]. У контролері Simatic S7-1200 ПІД-регулювання реалізується через вбудований технологічний об'єкт **PID_Compact**, що є стандартним функціональним блоком TIA Portal з можливістю автоматичного самоналаштування параметрів [11].

Технологічний об'єкт PID_Compact

Блок PID_Compact реалізує алгоритм ПІД-регулювання з антинасиченням інтегральної складової та підтримує кілька режимів роботи. Основні входи блоку: Setpoint (завдання у фізичних одиницях), Input (поточне значення регульованої величини), Input_PER (значення з аналогового входу у форматі WORD), ManualEnable (увімкнення ручного режиму), ManualValue (задане значення у ручному режимі), Reset (скидання стану регулятора), Mode (вибір режиму роботи). Основні виходи блоку: Output (вихідне значення у діапазоні -100...+100%), Output_PER (вихідне значення для аналогового виходу у форматі WORD), ScaledInput (нормоване значення вхідного сигналу),

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

State (поточний стан блоку), Error (код помилки), ErrorBits (бітове поле помилок) [11].

Блок підтримує чотири режими роботи, що перемикаються через вхід Mode: режим 0 - неактивний (виходи у нульовому стані); режим 1 - переддиференційне переналаштування (pretuning); режим 2 - точне налаштування (fine tuning); режим 3 - автоматичний режим регулювання. Стартовий режим визначається значенням біта %M1.0 «FirstScan» - при першому скані після завантаження програми блок ініціалізується та переводиться в автоматичний режим. Параметри ПІД-регулятора зберігаються в структурі CtrlParamsBackUp відповідного екземплярного блоку даних (DB) і можуть змінюватися в режимі онлайн без перезавантаження програми [11].

ПІД-регулювання температури припливного повітря - FC13 (Nagriv)

У функції FC13 (Nagriv) реалізовано два незалежних контури ПІД-регулювання для управління першим калорифером.

Перший контур - регулювання температури припливного повітря - реалізовано в мережі 3 функції FC13 через технологічний об'єкт **PID_Compact_2** (екземплярний блок DB864). Завдання на температуру (Setpoint) формується функцією FC12 (T_for_sp) та передається до блоку через змінну «Аналогові величини».T_for_sp. Поточне значення температури припливного повітря (Input) надходить від датчика ДТП через змінну «Аналогові величини».T_FOR_norm. Умовою увімкнення регулятора є активний сигнал «Дискретні величини».Pusk_nagriv_1 – при його відсутності вхід Reset переводить регулятор у початковий стан для запобігання накопиченню помилки інтегральної складової під час зупинки. Вихідний сигнал Output передається до змінної Klapan_Nagriv1_1, що визначає положення клапана першого нагрівача СК1 у відсотках [6, 11].

У мережі 4 функції FC13 через інструкцію MOVE передається значення коефіцієнта підсилення Kp з уставки «Аналогові величини».Kp_Klapan_1 до параметра PID_Compact_2.CtrlParamsBackUp.p.Gain, що забезпечує

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

оперативне налаштування пропорційної складової без перекомпіляції програми, рис. 3.11.

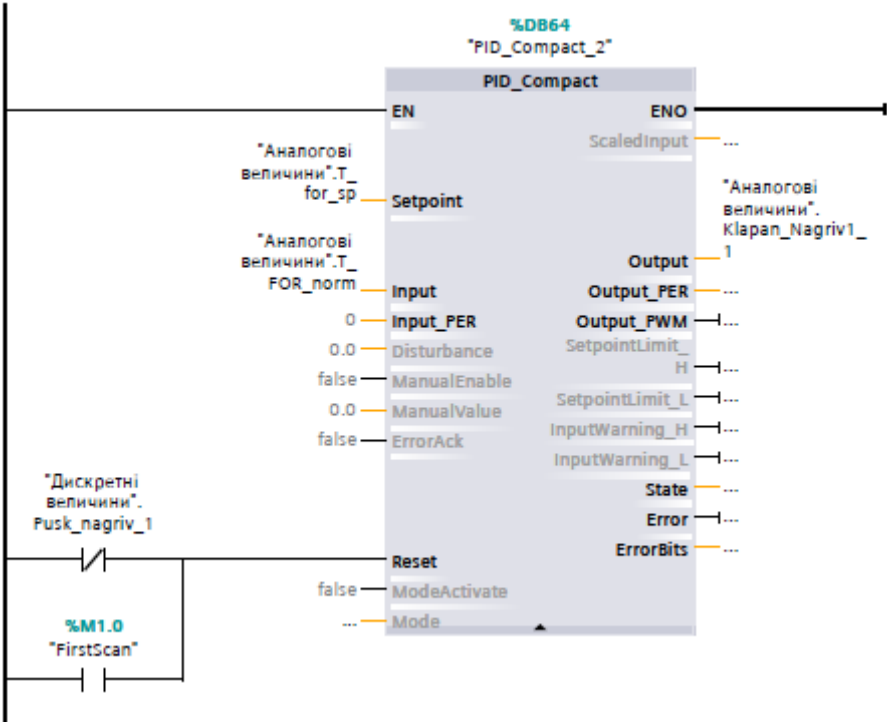


Рисунок 3.11 – Блок PID_Compact_2

Другий контур — регулювання температури зворотної пари калорифера №1 - реалізовано в мережі 11 через технологічний об'єкт **PID_Compact_5** (DB865). Завдання (Setpoint) та поточне значення (Input) надходять від датчика ДТП1 через змінну «Аналогові величини».T_RW1_norm. Вихідний сигнал регулятора Klapan_zvor1_1 після масштабування через функцію FC6 (Scale_Real2Real) в мережі 14 формує аналоговий сигнал на клапан зворотної пари Klapan_zvor_1 [6]. Цей контур реалізує захисну функцію підтримання мінімальної температури зворотної пари для запобігання замерзанню калорифера - параметри Kp та Ti передаються до блоку аналогічно через інструкції MOVE в мережах 12-13, рис. 3.12.

ПД-регулювання температури припливного повітря - FC54 (Nagriv_1)

Функція FC54 (Nagriv_1) реалізує аналогічні контури регулювання для другого парового калорифера і має ідентичну структуру з FC13.

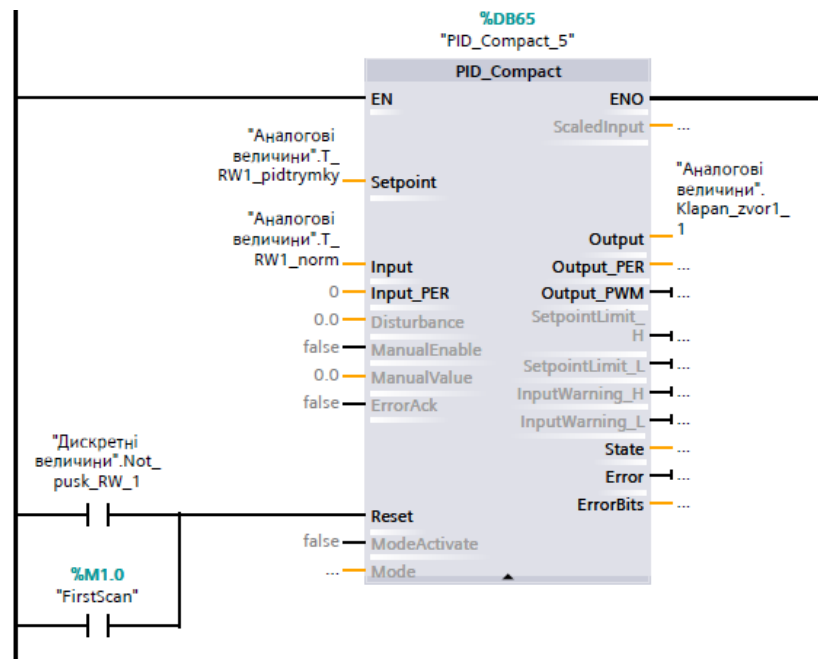


Рисунок 3.12 – PID_Compact_5 регулювання зворотної пари

У мережі 1 функції FC54 реалізовано логіку дозволу на роботу нагрівача: умовами є активний сигнал «Пуск».work, значення клапана Klapan_N1 менше максимального (set100_1), активний зимовий сезон (Not sezon), дозвіл від логіки Rezh_nagr1. При виконанні всіх умов формується сигнал Pusk_nagriv_2. У мережі 2 викликається функція FC55 (Pusk_zvor_1) для управління зворотним клапаном другого калорифера [6].

Мережа 3 містить технологічний об'єкт **PID_Compact_7** (DB869) — основний контур регулювання температури припливного повітря для другого нагрівача. Структура підключення аналогічна до PID_Compact_2 в FC13: Setpoint ← for_sp, Input ← FOR_norm, Output → Klapan_Nagriv1_2, Reset ← Not(Pusk_nagriv_2), Mode ← %M1.0 FirstScan. Вихідний сигнал Klapan_Nagriv1_2 після масштабування визначає положення клапана другого нагрівача СК2 [6, 11].

Мережа 11 містить технологічний об'єкт **PID_Compact_8** (DB076) – контур регулювання температури зворотної пари другого калорифера (датчик ДТП2, змінна RW2_norm), рис. 3.13. Вихідний сигнал Klapan_zvor1_2 після масштабування через FC6 формує сигнал на клапан зворотної пари другого нагрівача Klapan_zvor_2 [6].

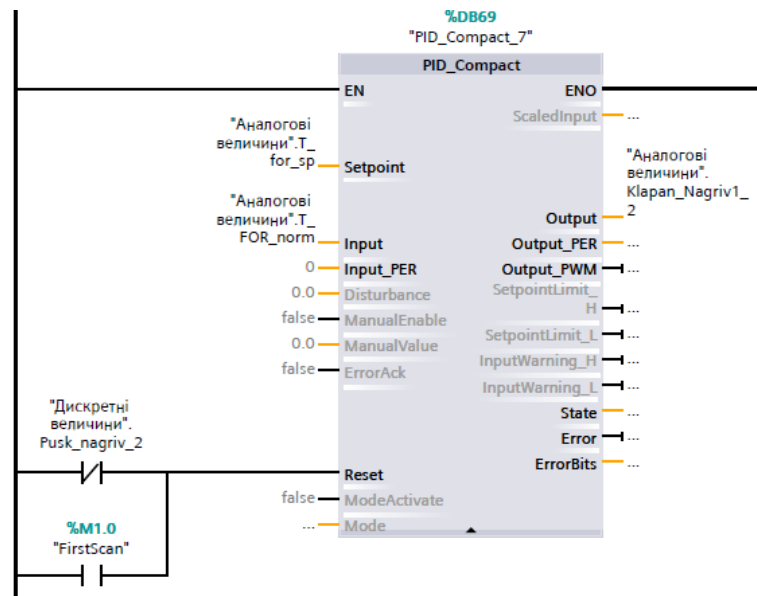


Рисунок 3.13 – Блок PID_Compact_7

ПІД-регулювання рециркуляції — FC57 (Retsyrkulatsia)

Функція FC57 реалізує ПІД-регулювання положення заслінки рециркуляції. В мережах 6–7 функції через інструкцію SEL Real формуються мінімальне (rets_min) та максимальне (rets_max) положення заслінки залежно від активного сезону (sezon): для зимового режиму використовуються значення Rets_min_winter та Rets_max_winter, для літнього — Rets_min_summer та Rets_max_summer [6].

Мережа 9 містить технологічний об'єкт **PID_Compact_1** (DB862), що реалізує контур регулювання рециркуляції. Особливістю підключення цього блоку є використання входів ManualEnable та ManualValue: при активному сигналі «Дискретні величини».Rets_max регулятор переводиться в ручний режим з примусовим встановленням максимального положення заслінки — це

реалізує функцію рекуперативного прогріву приміщення. Завдання Setpoint надходить від змінної Iny_set, поточне значення Input — від змінної Iny_in, вихідний сигнал Output записується до змінної rets1 та після масштабування передається на сервопривід рециркуляції СЖРЦ [6], рис. 3.14.

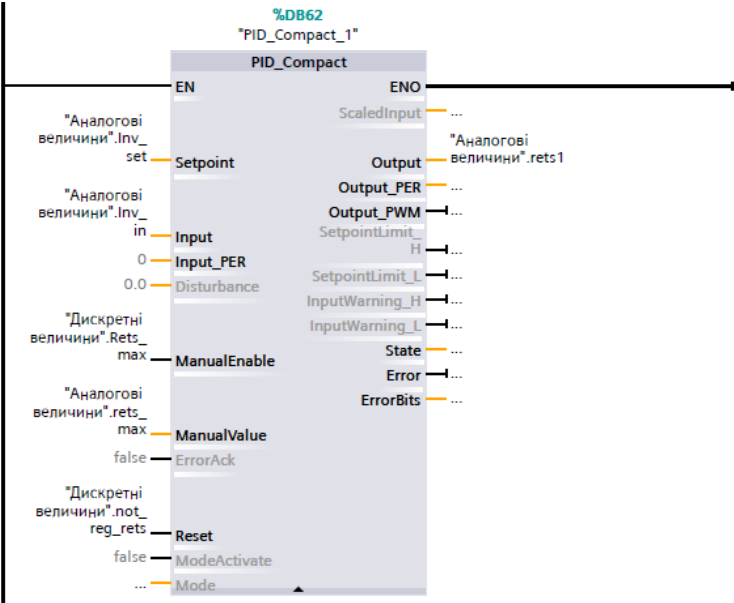


Рисунок 3.14 - Блок PID_Compact_1

У таблиці 3.1 наведено зведені дані про всі ПІД-регулятори.

Таблиця 3.1 — Зведена таблиця ПІД-регуляторів АСУ

Блок	DB	Функція	Вхід (Input)	Завдання (Setpoint)	Вихід (Output)
PID_Compact_1	DB862	FC57	Iny_in	Iny_set	rets1 (СЖРЦ)
PID_Compact_2	DB864	FC13	FOR_norm (ДТП)	for_sp	Klapan_Nagriv1_1 (СК1)
PID_Compact_5	DB865	FC13	RW1_norm (ДТП1)	RW1_norm	Klapan_zvor1_1
PID_Compact_7	DB869	FC54	FOR_norm (ДТП)	for_sp	Klapan_Nagriv1_2 (СК2)
PID_Compact_8	DB076	FC54	RW2_norm (ДТП2)	RW2_norm	Klapan_zvor1_2

Таким чином, в програмному забезпеченні контролера реалізовано п'ять незалежних контурів ПІД-регулювання, що забезпечують точне автоматичне підтримання температури припливного повітря, захист калориферів від замерзання та оптимальне управління рециркуляцією. Налаштування параметрів кожного регулятора (K_p , T_i) здійснюється через відповідні уставки в меню панелі HMI та передається до блоків PID_Compact через інструкції MOVE без зупинки системи [6, 11].

3.4 Розроблення людино-машинного інтерфейсу (HMI)

Людино-машинний інтерфейс (HMI) є важливою складовою АСУ, що забезпечує зручну взаємодію оперативного персоналу з системою управління. В розроблюваній системі HMI реалізовано на панелі оператора Siemens KTP400 Basic PN з діагоналлю 4,3" та роздільною здатністю 480×272 пікселі. Проект HMI розроблено в середовищі TIA Portal паралельно з проектом контролера, що забезпечує автоматичний доступ до тегів PLC без їх повторного визначення [9, 11]. Загальна структура проекту HMI включає 18 екранів, що охоплюють відображення параметрів, управління підсистемами, налаштування графіку роботи та параметрів VAV-зон [6].

Панель KTP400 Basic PN має чотири фізичні функціональні кнопки F1–F4, що розміщені під сенсорним екраном. В кожному екрані ці кнопки призначено через параметри Softkey_F1–Softkey_F4 з відповідними функціями навігації та авторизації. Зокрема, Softkey_F3 (Key code 222) відповідає за User administration – управління обліковими записами користувачів, Softkey_F4 (Key code 223) – за загальну авторизацію. Такий підхід забезпечує захист від несанкціонованого доступу до параметрів налаштування [9].

Інженерне меню. Головним навігаційним екраном інженерного рівня є Engenier_menu_vent, рис. 3.15. Він містить дев'ять кнопок переходу до

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

підменю налаштувань окремих підсистем: Нагрівач №1 (Button_1, перехід на Heat1_eng), Нагрівач №2 (Button_2, перехід на Heat2_eng), ККБ (Button_3, перехід на ККВ_eng), Т. припливу, Зв. пара №1, Зв. пара №2, Рециркуляція, В. припливу, Зволожувач, а також кнопку Вихід для повернення до головного вікна. Всі кнопки виконані у режимі «Check back with text» та активуються подією Release [9].



Рисунок 3.15 - Екран Engenier_menu_vent, інженерне меню налаштувань

Головне вікно та вікна управління підсистемами. Головне вікно системи відображає поточні значення основних параметрів мікроклімату - температури припливного та кімнатного повітря, вологості, поточний сезон роботи та режим (Авто/Ручний). Навігаційна панель у нижній частині екрана забезпечує перехід між вікнами підсистем [6], рис.3.16.

Вікно «Нагрівач 1 та 2» відображає поточне відкриття сервопривода клапана (у відсотках), поточну температуру зворотної пари (конденсату) та дозволяє в ручному режимі змінити положення клапана. Вікно «ККБ» відображає поточну умовну потужність ККБ та стан чотирьох ступенів охолодження (Стоп/Вимкнено), з можливістю ручного перемикання ступенів в ручному режимі (елементи керування відсутні в автоматичному режимі) [6].

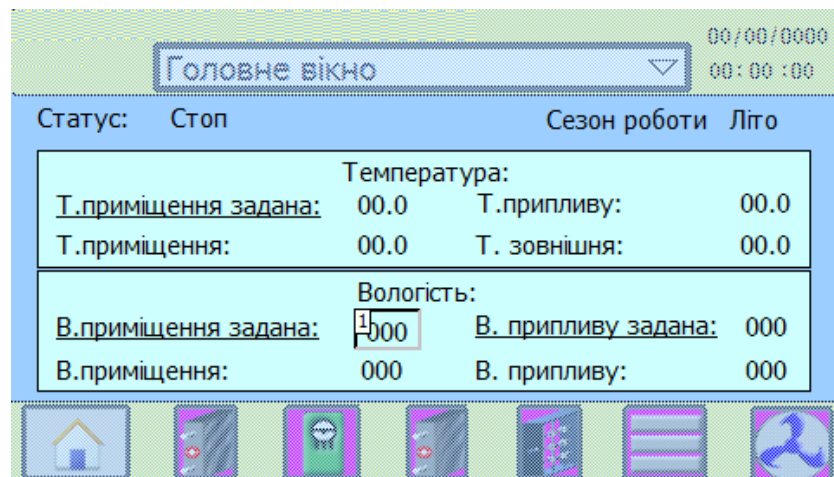


Рисунок 3.16 - Екран головний

Екрани налаштування ПІД-регуляторів. Екран Hum_for_eng призначений для налаштування параметрів ПІД-регулятора вологості. Він містить поля введення K_p (I/O field з тегом «Аналогові величини». $K_p_T_for$) та T_i (I/O field з тегом «Аналогові величини». $T_i_T_for$) у режимі Input/output, що дозволяє оператору змінювати коефіцієнти безпосередньо з панелі в режимі онлайн без зупинки системи. Кнопка «Назад» (Button_1) забезпечує повернення до інженерного меню [9, 11], рис. 3.17.

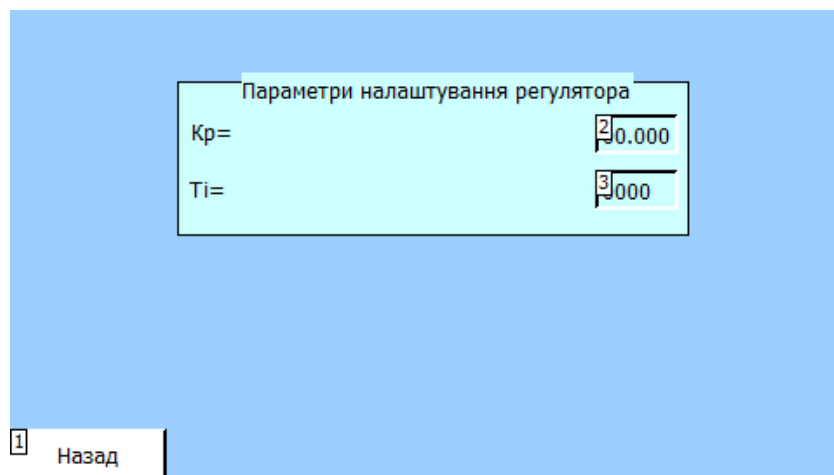


Рисунок 3.17 - Екран Hum_for_eng, налаштування параметрів ПІД-регулятора

Екрани графіку роботи. Для кожного дня тижня реалізовано окремий екран графіку роботи — наприклад, Thursday (екран №18, «Четвер»). Екран

містить дві групи полів введення: «Графік роботи» з полями «Час включення» (год:хв) та «Час виключення» (год:хв) для основного режиму, та «Економний режим» з аналогічними полями для зниженого навантаження. Навігація між днями тижня здійснюється кнопками «←» та «→» у верхній частині екрана. Кнопка «Графік роботи» забезпечує перехід на екран загального графіку [6, 9], рис. 3.18.

Рисунок 3.18 - Екран Thursday, графік роботи на четвер

Екрани управління VAV-зонами. Для управління кліматом в окремих приміщеннях будівлі реалізовано групу екранів VAV-зон. Кожен екран містить: назву приміщення (Text field — «Приміщення №3»), поточне та задане значення температури (I/O field з тегамі Datas of VAV_Set_T_room та VAV_Set_man відповідно, режим Input/output), поточне відкриття сервопривода (I/O field, тег VAV_Set_P, режим Output), перемикач режиму Авто/Ручний (Switch з тегом Datas of VAV_Rezh_P4), а також текстове поле «Режим» для відображення активного стану. Динамічна видимість елементів керування реалізована через Dynamizations\Visibility з прив'язкою до тегу VAV_Rezh - елементи ручного управління відображаються лише при активному ручному режимі [6], рис. 3.19.

Рисунок 3.19 - Екран управління VAV-зоною (Приміщення №3)

Екрани VAV DP_max та VAV Kp/Ti PID призначені для налаштування меж тиску (Мінімум/Максимум, теги VAV_DP_max) та параметрів ПІД-регулятора VAV-зон (Kp - тег VAV_Kp_PID20, Ti - тег VAV_Ti_PID20) відповідно. Ці екрани доступні лише з інженерного рівня доступу.

Авторизація та рівні доступу. Система HMI реалізує дворівневу авторизацію. Перший рівень (оператор) забезпечує доступ до перегляду параметрів та перемикання режимів роботи. Другий рівень (інженер, User administration) відкриває доступ до інженерного меню з можливістю зміни уставок регулювання, параметрів ПІД-регуляторів та графіку роботи. Кнопка Softkey_F3 на кожному екрані викликає діалог авторизації через механізм Authorization TIA Portal [9].

Таким чином, розроблений HMI-проект забезпечує повноцінне оперативне управління та налаштування всіх підсистем АСУ припливно-втяжної установки через зручний україномовний інтерфейс панелі оператора KTR400 Basic PN [6, 9, 11].

3.5 Симуляція та налагодження системи

Симуляція є важливим етапом розроблення програмного забезпечення, що дозволяє перевірити коректність реалізованих алгоритмів та функціональність НМІ-інтерфейсу до введення системи в реальну експлуатацію. В середовищі TIA Portal симуляція виконується за допомогою вбудованого інструменту SIMATIC S7-PLCSIM, що емулює роботу контролера CPU 1215C, та RT Simulator - симулятора панелі оператора KTP400 Basic PN [11, 28].

SIMATIC S7-PLCSIM дозволяє завантажити програму контролера до віртуального ПЛК та виконувати її в режимі реального часу на комп'ютері без підключення реального обладнання. Симулятор підтримує повний цикл виконання програми (OB1, OB30, OB100), обробку переривань та роботу технологічних об'єктів, включаючи PID_Compact.

RT Simulator є окремим застосунком TIA Portal, що емулює панель оператора та відображає розроблений НМІ-проект у точності як на реальній панелі KTP400 Basic PN, включаючи навігацію між екранами, введення значень та динамічне відображення тегів контролера.

Симуляція підтвердила коректність відображення головного вікна системи (рис. 3.20). В RT Simulator відображаються всі передбачені елементи: поле «Статус» (Стоп/Робота), поле «Сезон роботи» (Зима/Літо), таблиця температур з полями «Т.приміщення задана», «Т.приміщення», «Т.припливу», «Т.зовнішня», таблиця вологості з полями «В.приміщення задана», «В.приміщення», «В.припливу задана», «В.припливу», а також навігаційна панель іконок у нижній частині для переходу між підсистемами. Значення параметрів відображаються як «#...» та «####» — стандартний індикатор незв'язаних тегів у режимі симуляції без підключення реального ПЛК, що підтверджує правильність прив'язки тегів [9, 11].

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						94
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

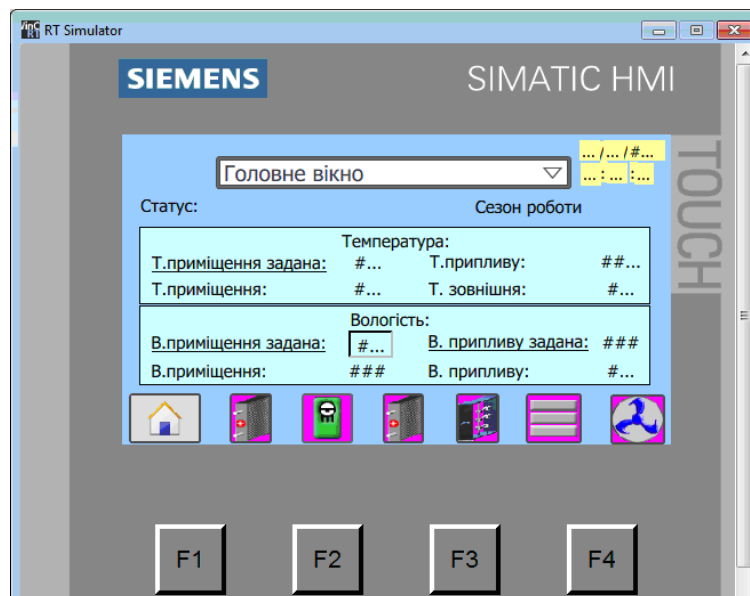


Рисунок 3.20 - Симуляція головного вікна (Main_window) в RT Simulator

Симуляція вікна нагрівача (рис. 3.21) підтвердила коректне відображення елементів керування калорифером: поле «Режим» відображає поточний режим роботи (Автоматичний), поле «Відкриття сервопривода» показує поточне положення клапана у відсотках, поле «Т. зворотної пари» — поточну температуру конденсату датчика ДТП1 або ДТП2. Графічне зображення тристороннього клапана з сервоприводом у лівій частині екрана забезпечує наочність відображення стану виконавчого механізму [6, 9].

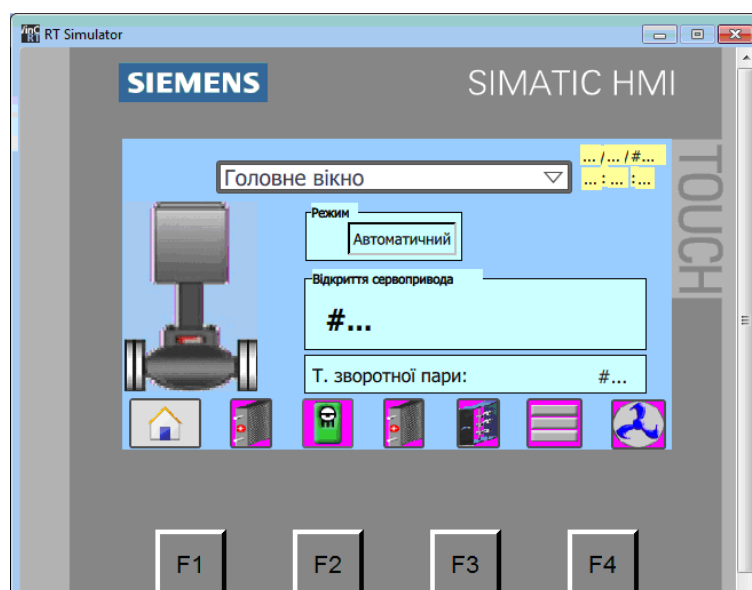


Рисунок 3.21 - Симуляція вікна нагрівача (Heater1) в RT Simulator

Графічна іконка зволожувача забезпечує наочну ідентифікацію підсистеми. Симуляція вікна рециркуляції (рис. 3.22) аналогічно відображає режим роботи та поточне відкриття заслінки рециркуляції СЖРЦ у відсотках з відповідною графічною іконкою [6, 9], рис. 3.23.

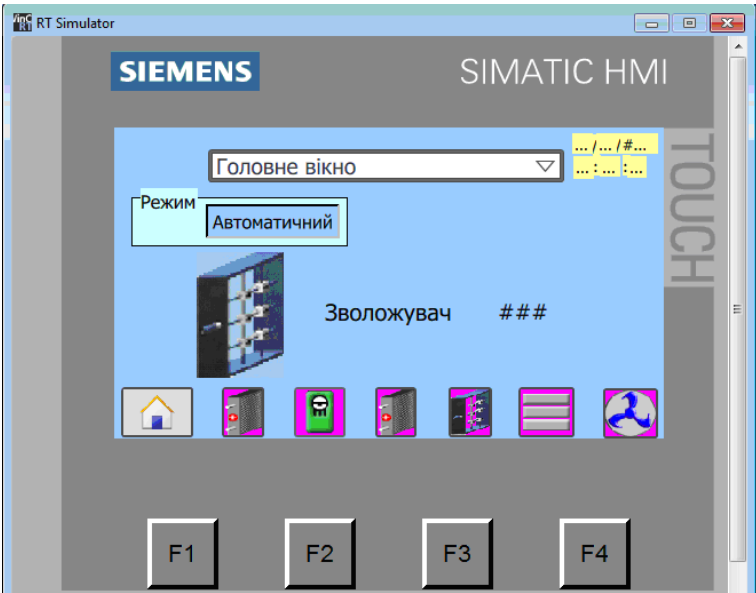


Рисунок 3.22 – Симуляція вікна зволожувача (Humiditifer) в RT Simulator

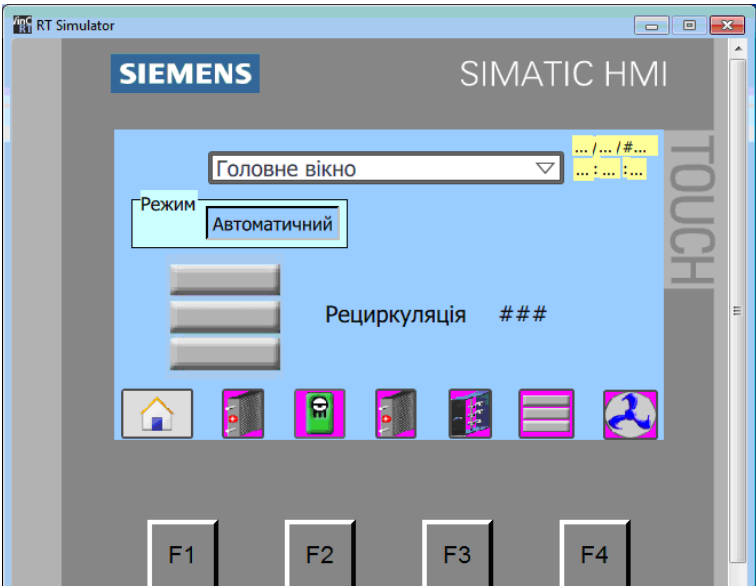


Рисунок 3.23 – Симуляція вікна рециркуляції (Rec) в RT Simulator

Симуляція вікна вентиляторів (рис. 3.24) є особливо важливою з точки зору верифікації алгоритму регулювання продуктивності. Вікно відображає

поточний режим роботи (Автоматичний), вибраний алгоритм регулювання - «Регулювання по Швидкості» (активна кнопка) або «Тиску» (неактивна), поточні значення «Швидкість» та «Тиск» із відповідними заданими значеннями, а також «Оберти вентилятора» - поточна частота обертання. Симуляція підтвердила коректне перемикавання між алгоритмами регулювання та відображення відповідних параметрів [6, 9, 11].

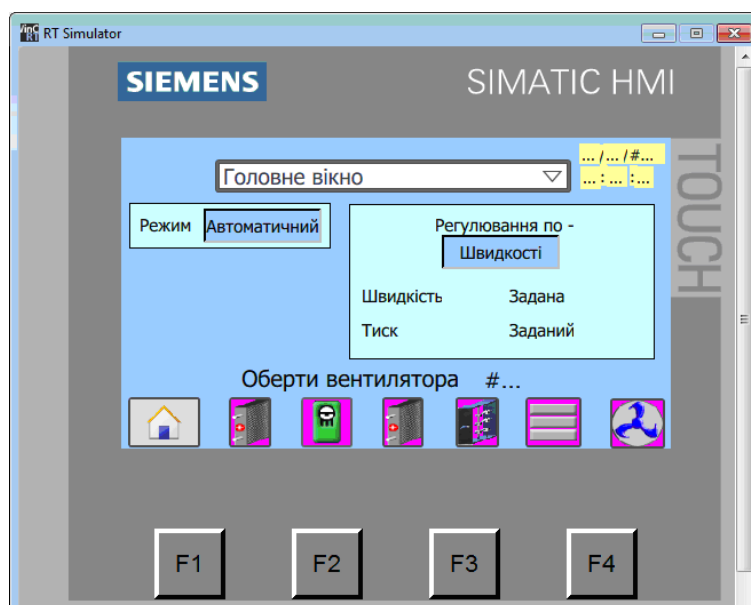


Рисунок 3.24 - Симуляція вікна вентиляторів (Ventilators) в RT Simulator

Симуляція вікна ККБ (рис. 3.25) підтвердила коректне відображення стану компресорно-конденсаторного блоку: поле «Режим» (Автоматичний), поле «Потужність ККБ» з числовим значенням умовної потужності у відсотках, а також блок «Ступені охолодження» з відображенням стану чотирьох ступенів (1-4). В автоматичному режимі елементи ручного перемикавання ступенів приховані, що відповідає реалізованій логіці динамічної видимості через Dynamizations\Visibility [6, 9].

В ході симуляції перевірено навігацію між усіма екранами проекту — коректність переходів між головним вікном, меню підсистем та інженерним меню. Перевірено роботу кнопок Softkey F1–F4 на панелі: кнопка F3 коректно викликає діалог авторизації User administration, а кнопка F4 - діалог загальної

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						97
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

авторизації. Підтверджено коректність роботи динамічних елементів - зміну видимості кнопок ручного управління при перемиканні між автоматичним та ручним режимами [9, 11].

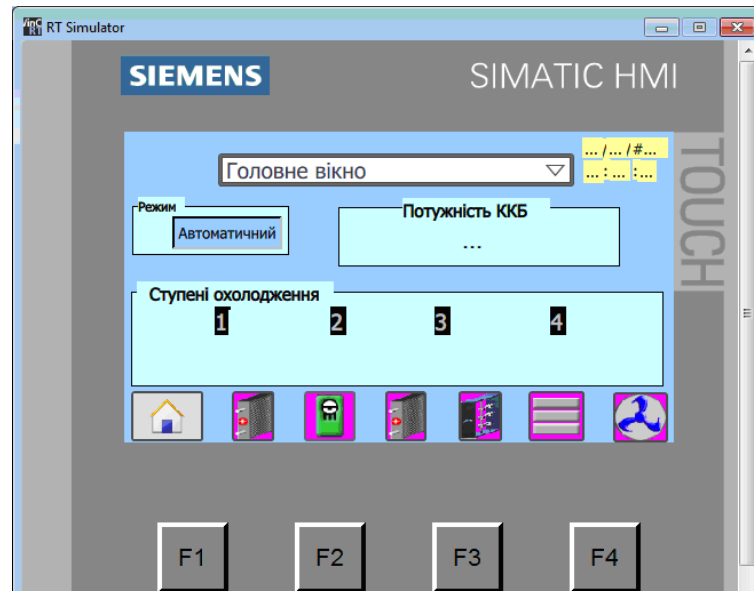


Рисунок 3.25 – Симуляція вікна ККБ (ККВ) в RT Simulator

Таким чином, симуляція в середовищі TIA Portal підтвердила коректність функціонування як програмного забезпечення контролера, так і НМІ-проекту панелі оператора. Всі реалізовані екрани відображають передбачені елементи управління, навігація між вікнами працює відповідно до проектної структури, а динамічна видимість елементів функціонує згідно з алгоритмами управління [6, 9, 11].

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання – розроблено автоматизовану систему управління припливно-витяжною вентиляційною установкою на базі програмованого логічного контролера Simatic S7-1200, що забезпечує автоматичне підтримання заданих параметрів мікроклімату, захист обладнання від аварійних ситуацій та зручне оперативне управління через людино-машинний інтерфейс.

У ході виконання роботи отримано такі результати:

- проведено аналіз предметної області та огляд сучасних рішень з автоматизації вентиляційних систем. Розглянуто принцип роботи припливно-витяжних установок, основні режими їх експлуатації та нормативні вимоги до параметрів мікроклімату відповідно до ДБН В.2.5-67:2013. Виконано порівняльний аналіз контролерів провідних виробників, за результатами якого обґрунтовано вибір контролера Simatic S7-1200 як оптимального рішення для реалізації розроблюваної АСУ з урахуванням функціональних можливостей, комунікаційних засобів та зручності програмування в середовищі TIA Portal;

- розроблено структурну та функціональну схеми АСУ припливно-витяжною установкою, що визначають склад системи, інформаційні зв'язки між її елементами та реалізовані контури регулювання. Система побудована за трирівневою ієрархічною структурою і включає польовий рівень (датчики та виконавчі механізми), управляючий рівень (контролер CPU 1215C з модулями розширення) та диспетчерський рівень (панель оператора KTP400 Basic PN);

- виконано вибір та обґрунтування засобів автоматизації відповідно до технологічних вимог об'єкта. Для вимірювання температури обрано датчики Siemens QAM2120.200, QAE2120.010 та QAC22 на основі чутливого елемента Pt1000. Для вимірювання вологості, тиску та швидкості повітря обрано датчики S+S Regeltechnik та Siemens QBM2030-30, QVM62.1. Для захисту

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						99
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

калориферів від замерзання обрано капілярні термостати Siemens QAF63.6-J. Виконавчі механізми представлені частотними перетворювачами Lenze i550 та сервоприводами серії Siemens GDB/SKD;

- виконано конфігурування апаратної частини системи в середовищі TIA Portal: визначено склад та порядок розміщення модулів (CPU 1215C, SM1231 AI 4×RTD × 2, SM1232 AQ 4×12bit), налаштовано типи сигналів для кожного аналогового каналу, розподілено адреси входів та виходів. Мережева топологія реалізована шляхом прямого підключення панелі KTP400 Basic PN до контролера через інтерфейс PROFINET;

- розроблено схему електричну принципову та схему підключення польового обладнання до щита управління. Схема охоплює силову частину, підключення дискретних та аналогових входів/виходів контролера, схеми підключення польових приладів до клемних колодок. Виконано проектування щита управління в корпусі CS-108/300 (IP54) з розподілом обладнання на силову зону та зону керування з металевою перегородкою між ними;

- розроблено алгоритми управління установкою, що реалізують: автоматичне визначення сезону роботи за температурою зовнішнього повітря; ПІД-регулювання температури припливного повітря в режимі «ЗИМА» шляхом керування клапанами парових калориферів СК1 та СК2; ступеневе управління компресорно-конденсаторним блоком в режимі «ЛІТО» з почерговим вмиканням чотирьох ступенів охолодження; регулювання вологості та продуктивності вентиляторів; комплексний аварійний захист з автоматичним відключенням та формуванням діагностичних повідомлень; захист калориферів від замерзання в режимі очікування;

- розроблено програмне забезпечення контролера в середовищі TIA Portal мовами LAD, FBD та SCL за модульним принципом. Програма складається з організаційних блоків OB1 та OB100, блоку циклічного переривання та функцій FC25, FC50–FC53, FC60, FC61, FC71, кожна з яких реалізує алгоритм управління окремим технологічним вузлом;

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						100
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- реалізовано ПІД-регулювання температури, вологості та продуктивності вентиляторів на основі вбудованого технологічного об'єкту PID_Compact контролера S7-1200;

- розроблено людино-машинний інтерфейс на панелі KTP400 Basic PN, що включає головне вікно з відображенням поточних параметрів мікроклімату, вікна управління окремими підсистемами (нагрівачі, ККБ, зволожувач, рециркуляція, вентилятори), розгалужене меню налаштувань з інженерним меню захищеним паролем, проведено симуляцію роботи панелі.

Результати роботи можуть бути використані проектними організаціями та підприємствами, що займаються розробленням і впровадженням автоматизованих систем управління вентиляційним обладнанням будівель на базі контролерів Siemens Simatic S7-1200.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						101
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013. 149 с.
2. ДСТУ EN 15232-1:2017. Енергоефективність будівель. Частина 1. Вплив автоматизованих систем моніторингу та управління будівлями (EN 15232-1:2017, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 98 с.
3. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 210 с.
4. Автоматизація виробничих процесів : підручник / О. О. Пупена та ін. Київ : Ліра-К, 2019. 376 с. URL: <https://pupenasan.github.io/avpbook/>
5. Лисиця В. Т., Дубовой В. М. Основи автоматизації технологічних процесів : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2018. 244 с.
6. Бойко Т. В., Штепа В. М. Автоматизація систем управління мікрокліматом виробничих приміщень на базі ПЛК. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 2021. № 1 (3). С. 12–18.
7. Мисик О. Б., Гнатів Р. М. Розроблення алгоритмів управління системами вентиляції з рекуперацією теплоти. Науковий вісник НЛТУ України. 2022. Т. 32, № 2. С. 95–101.
8. Харченко В. В., Тітова О. А. Енергоефективне управління вентиляційними установками з використанням частотних перетворювачів. Електротехніка і електромеханіка. 2020. № 4. С. 44–49.
9. Pavlov H., Cherkashyna N. PID Control Implementation for HVAC Systems Based on Siemens S7-1200 PLC. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 5, № 2 (113). P. 34–42.
10. IEC 61131-3:2013. Programmable controllers — Part 3: Programming languages. Geneva : IEC, 2013. 228 p.

					<i>КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						102
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

11. Siemens AG. SIMATIC S7-1200 Programmable Controller System Manual. Nuremberg : Siemens AG, 2023. 766 p. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109764120>
12. Bee L. PLC and HMI Development with Siemens TIA Portal. Birmingham : Packt Publishing, 2022. 442 p. ISBN 978-1-80181-722-6.
13. Hartley W. SIEMENS Basic PLC Programming S7-1200 TIA Portal V17. Independently published, 2022. 186 p. ISBN 979-8355257743.
14. Ромашко В. Я., Вербицький Є. В. Імпульсна та цифрова техніка : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 292 с.
15. IEC 60751:2008. Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors. Geneva : IEC, 2008. 72 p.
16. Siemens AG. QAM2120 Duct Temperature Sensor Data Sheet. Nuremberg : Siemens AG, 2020. 4 p. URL: <https://ce.siemens.com>
17. Siemens AG. QAE2120 Immersion Temperature Sensor Data Sheet. Nuremberg : Siemens AG, 2020. 4 p. URL: <https://ce.siemens.com>
18. Siemens AG. QAC22 Outdoor Temperature Sensor Data Sheet. Nuremberg : Siemens AG, 2020. 4 p. URL: <https://ce.siemens.com>
19. S+S Regeltechnik. KFTF / KFF Humidity and Temperature Sensors Data Sheet. Nuremberg : S+S Regeltechnik, 2022. 6 p. URL: <https://www.ist-ag.com>
20. Siemens AG. QBM2030 Differential Pressure Sensor Data Sheet. Nuremberg : Siemens AG, 2021. 4 p. URL: <https://ce.siemens.com>
21. Siemens AG. QVM62.1 Air Velocity Sensor Data Sheet. Nuremberg : Siemens AG, 2021. 4 p. URL: <https://ce.siemens.com>
22. Siemens AG. QAF63.6-J Freeze Protection Thermostat Data Sheet. Nuremberg : Siemens AG, 2022. 4 p. URL: <https://ce.siemens.com>
23. Siemens AG. GDB161.9E Air Damper Actuator Data Sheet. Nuremberg : Siemens AG, 2022. 4 p. URL: <https://ce.siemens.com>

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						103
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

24. Lenze SE. i550 Cabinet Frequency Inverter Operating Instructions. Hameln : Lenze SE, 2023. 96 p. URL: <https://www.lenze.com/en/products/drives/inverters/i550-cabinet>
25. Siemens AG. SIMATIC S7-1200 SM 1231 Analog Input Module Manual. Nuremberg : Siemens AG, 2021. 48 p. URL: <https://support.industry.siemens.com>
26. Siemens AG. SIMATIC S7-1200 SM 1232 Analog Output Module Manual. Nuremberg : Siemens AG, 2021. 44 p. URL: <https://support.industry.siemens.com>
27. Siemens AG. SIMATIC KTP400 Basic Panel Operating Instructions. Nuremberg : Siemens AG, 2022. 120 p. URL: <https://support.industry.siemens.com>
28. TIA Portal Documentation Portal. URL: <https://docs.tia.siemens.cloud> (дата звернення: 01.05.2025).
29. Siemens Industry Online Support. URL: <https://support.industry.siemens.com> (дата звернення: 01.05.2025).
30. Automation Fair — Siemens Manuals and Examples. URL: <https://www.automation-fair.com> (дата звернення: 01.05.2025).

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						104
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема: Розроблення автоматизованої системи управління припливно-витяжною установкою на базі контролера S7-1200

Обсяг ПЗ складає 65 аркушів

Перелік креслень графічної частини:

- КРБ.СІ-04.00.00.000Е2 – Схема функціональна (аркушів 1);
- КРБ.СІ-04.00.00.001 – Hardware Config (аркушів 1);
- КРБ.СІ-04.00.00.000Е3 – Схема принципова електрична (аркушів 1);
- КРБ.СІ-04.00.00.002 – Головне вікно панелі оператора (аркушів 1);

Дата закінчення виконання бакалаврської роботи: _____

Студент-дипломник _____ Костюк Ю.Г.

					КРБ.СІ-04.00.00.000ПЗ	Арк.
						105
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДОДАТОК А

Лістинг програми контролера

Program blocks

Startup [OB100]

Startup Properties

General

Name	Startup	Number	100	Type	OB	Language	LAD
Numbering	Automatic						

Information

Title	"Complete Restart"	Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

Name	Data type	Default value	Supervision	Comment
▼ Input				
LostRetentive	Bool			True if retentive data are lost
LostRTC	Bool			True if date and time are lost
Temp				
Constant				

Program blocks

Cyclic interrupt [OB30]

Cyclic interrupt Properties							
General							
Name	Cyclic interrupt	Number	30	Type	OB	Language	LAD
Numbering	Automatic						
Information							
Title		Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					
Name		Data type	Default value		Supervision	Comment	
Temp							
Constant							

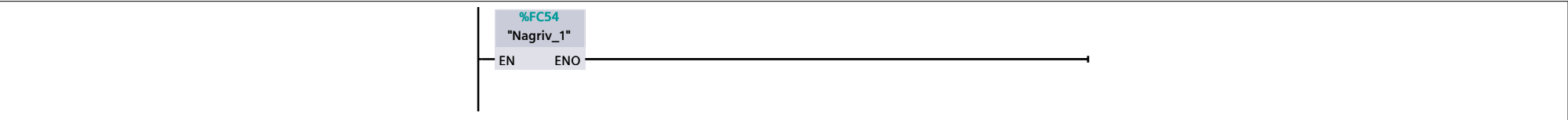
Network 1:



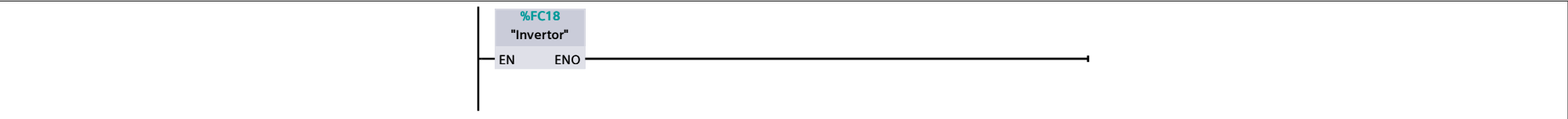
Network 2:



Network 3:



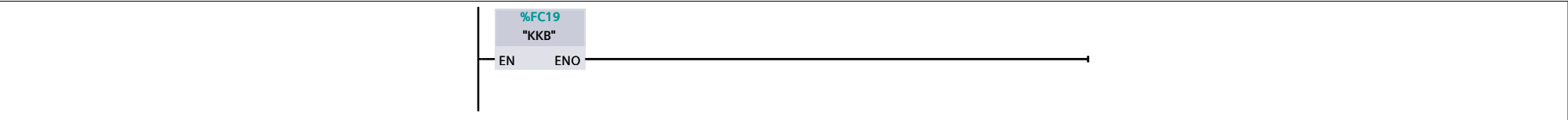
Network 4:



Network 5:



Network 6:



Network 7:



Network 8:

Totally Integrated Automation Portal		
	%FC58 "V_for_sp" EN ENO	
Network 9:		
	%FC26 "Room4" EN ENO	
Network 10:		
	%FC27 "Room5" EN ENO	
Network 11:		
	%FC28 "Room6" EN ENO	
Network 12:		
	%FC29 "Room8" EN ENO	
Network 13:		
	%FC30 "Room10" EN ENO	
Network 14:		
	%FC31 "Room11" EN ENO	
Network 15:		
	%FC32 "Room12" EN ENO	
Network 16:		
	%FC33 "Room14" EN ENO	
Network 17:		
	%FC34 "Room22" EN ENO	

Totally Integrated Automation Portal		
Network 18: %FC35 "Room25" EN ENO		
Network 19: %FC36 "Room30" EN ENO		

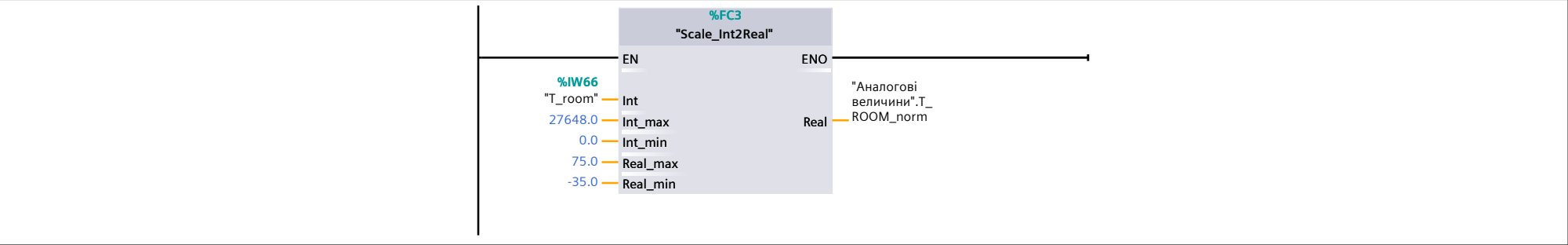
Program blocks

Main [OB1]

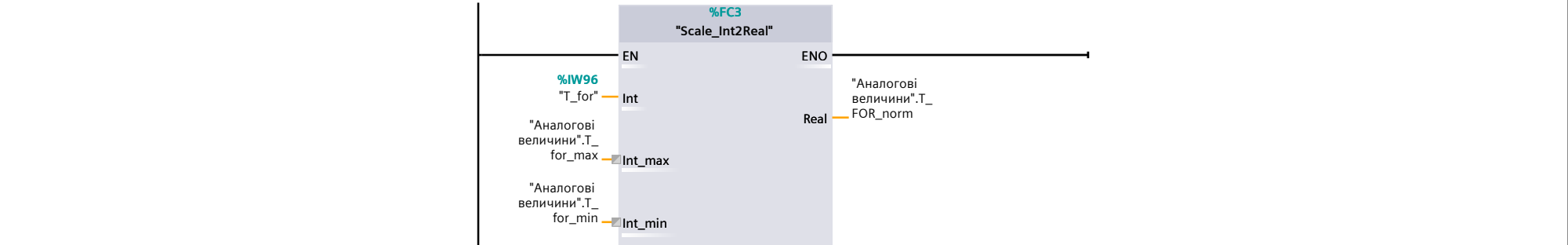
Main Properties							
General							
Name	Main	Number	1	Type	OB	Language	LAD
Numbering	Manual						
Information							
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

Name	Data type	Default value	Supervision	Comment
Temp				
Constant				

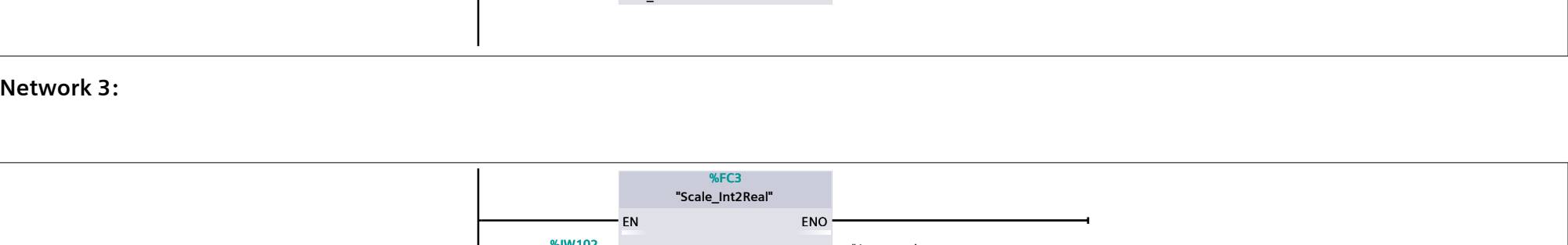
Network 1:



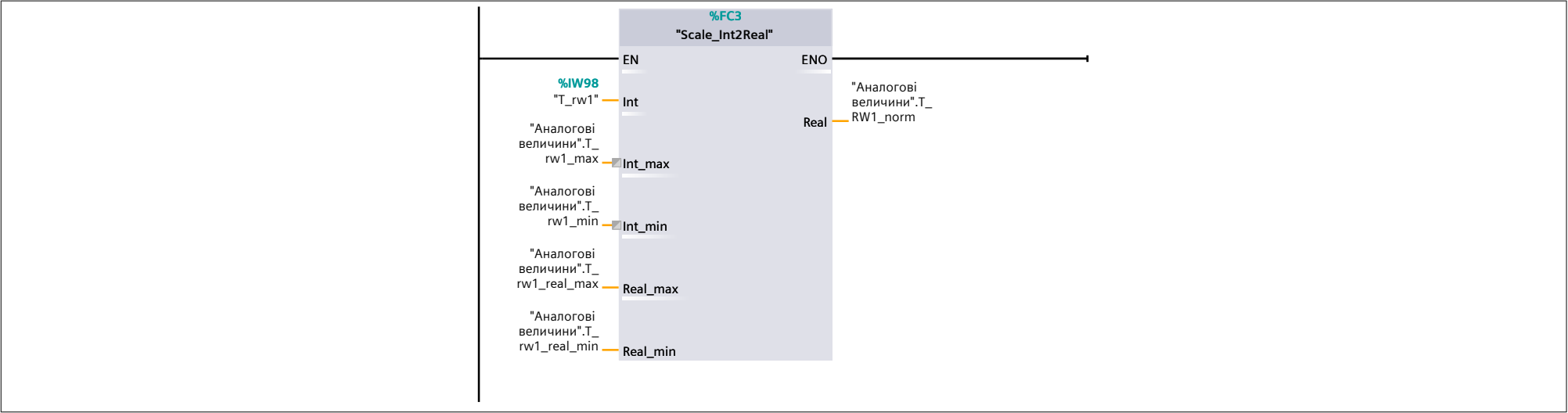
Network 2:



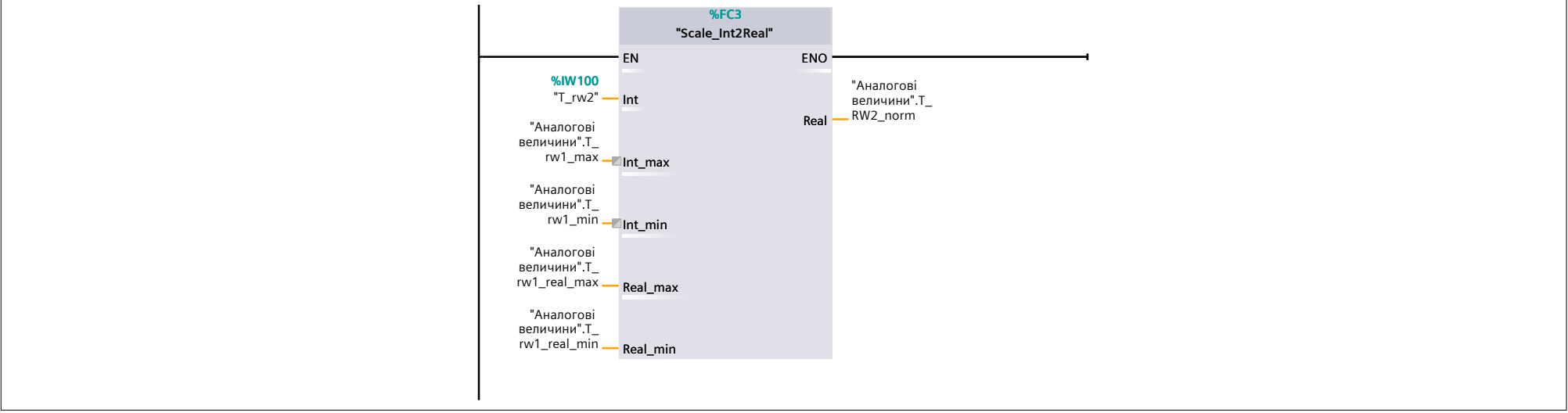
Network 3:



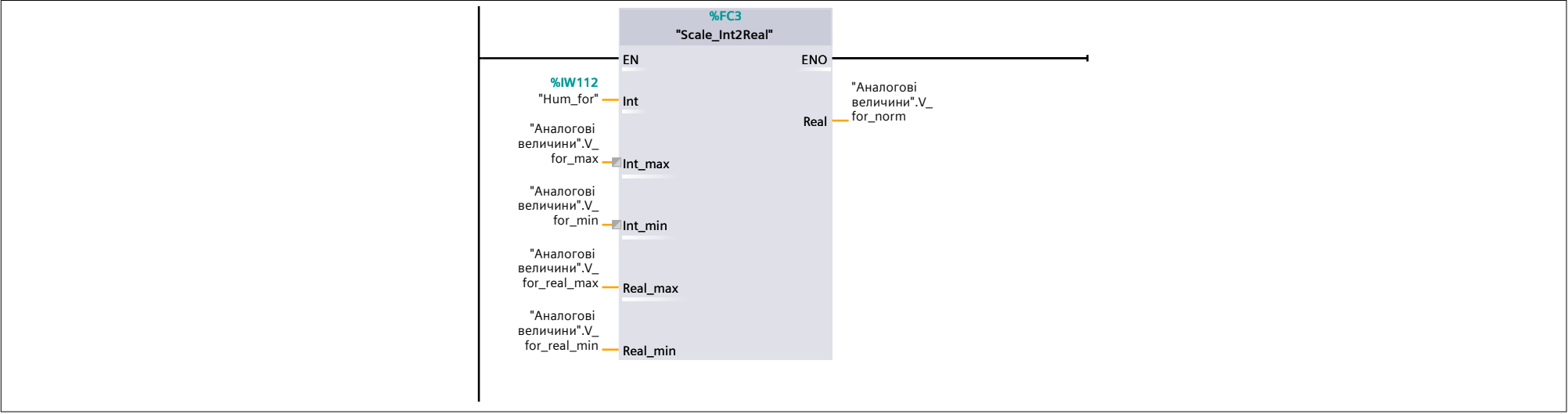
Network 4:



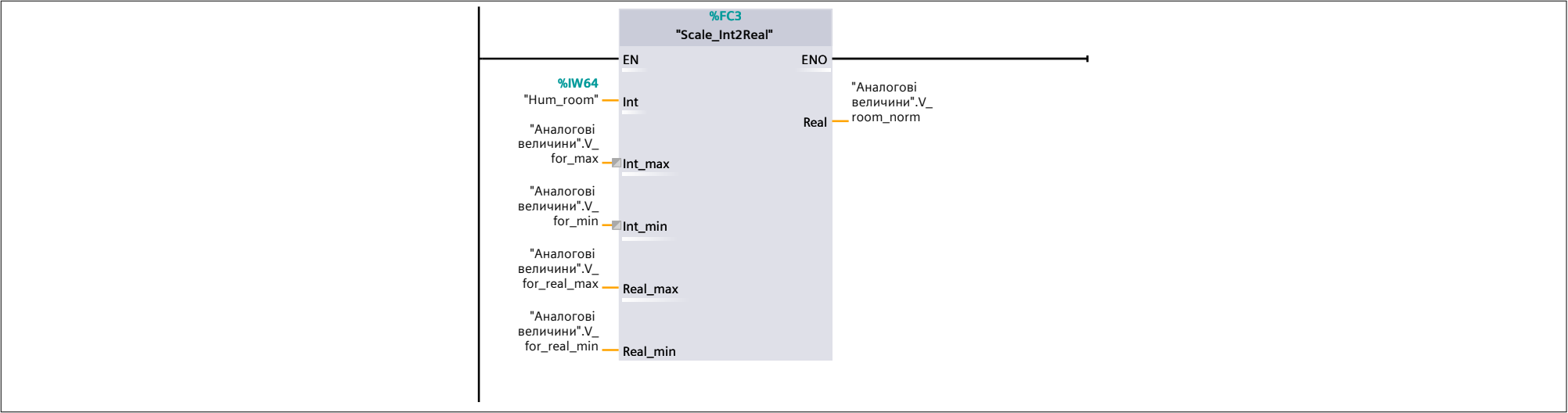
Network 5:



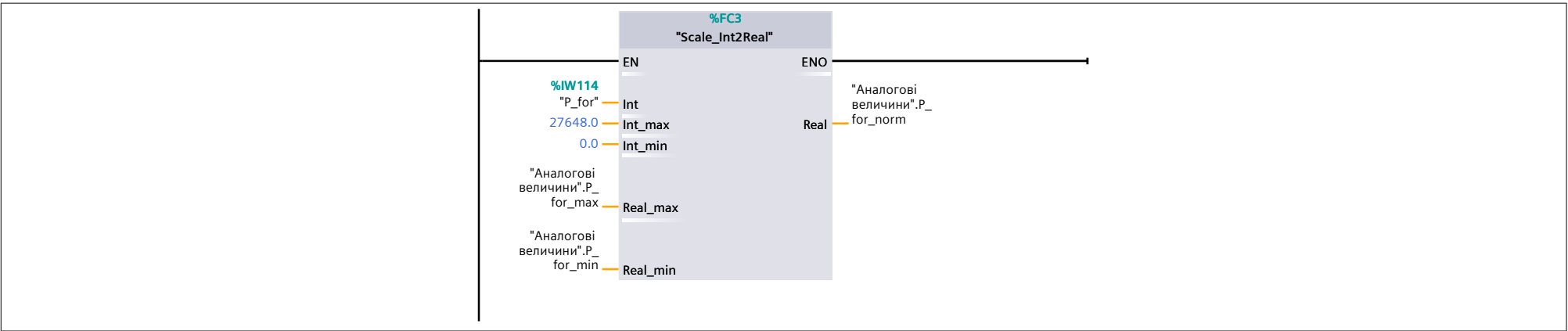
Network 6:



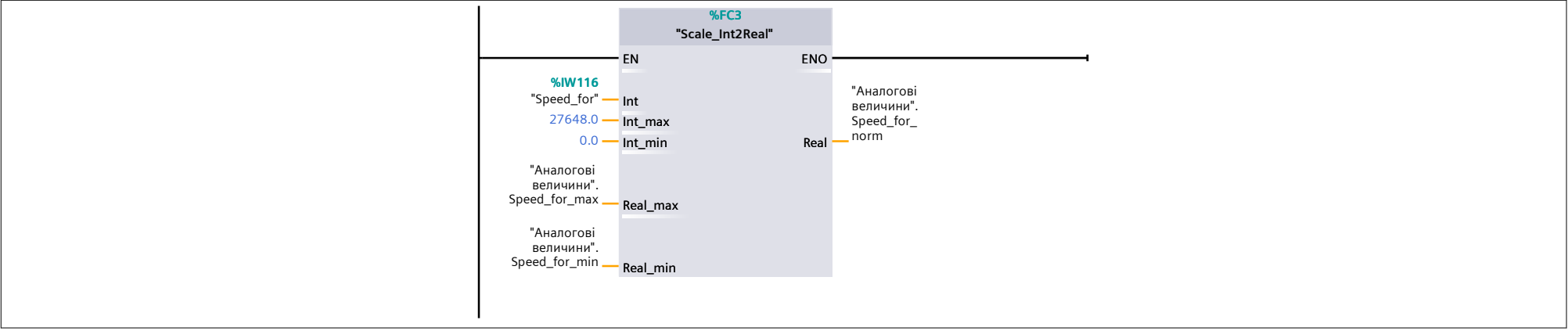
Network 7:



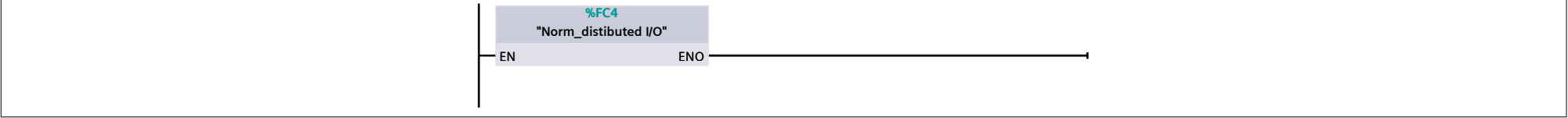
Network 8:



Network 9:



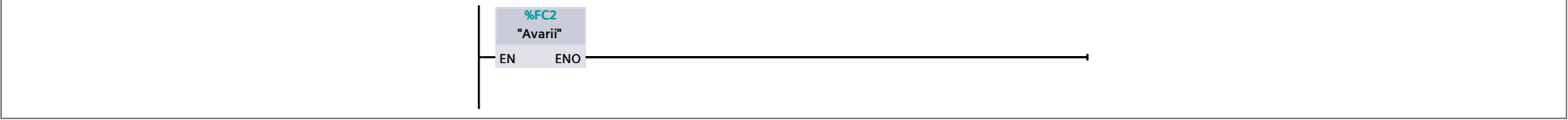
Network 10:



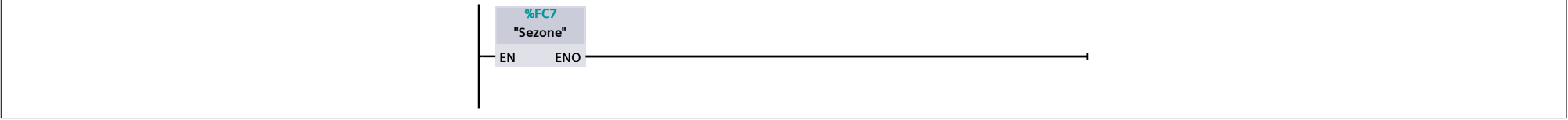
Network 11:



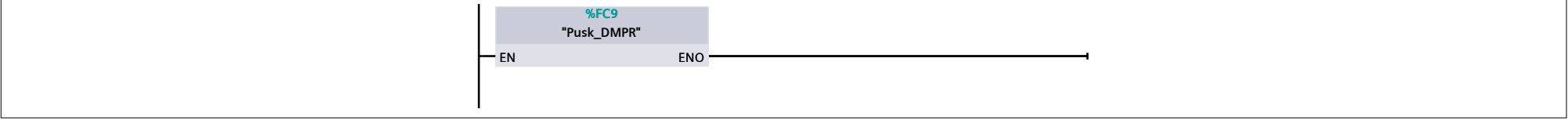
Network 12:



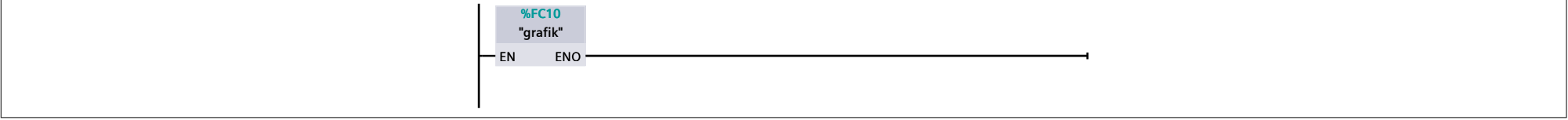
Network 13:



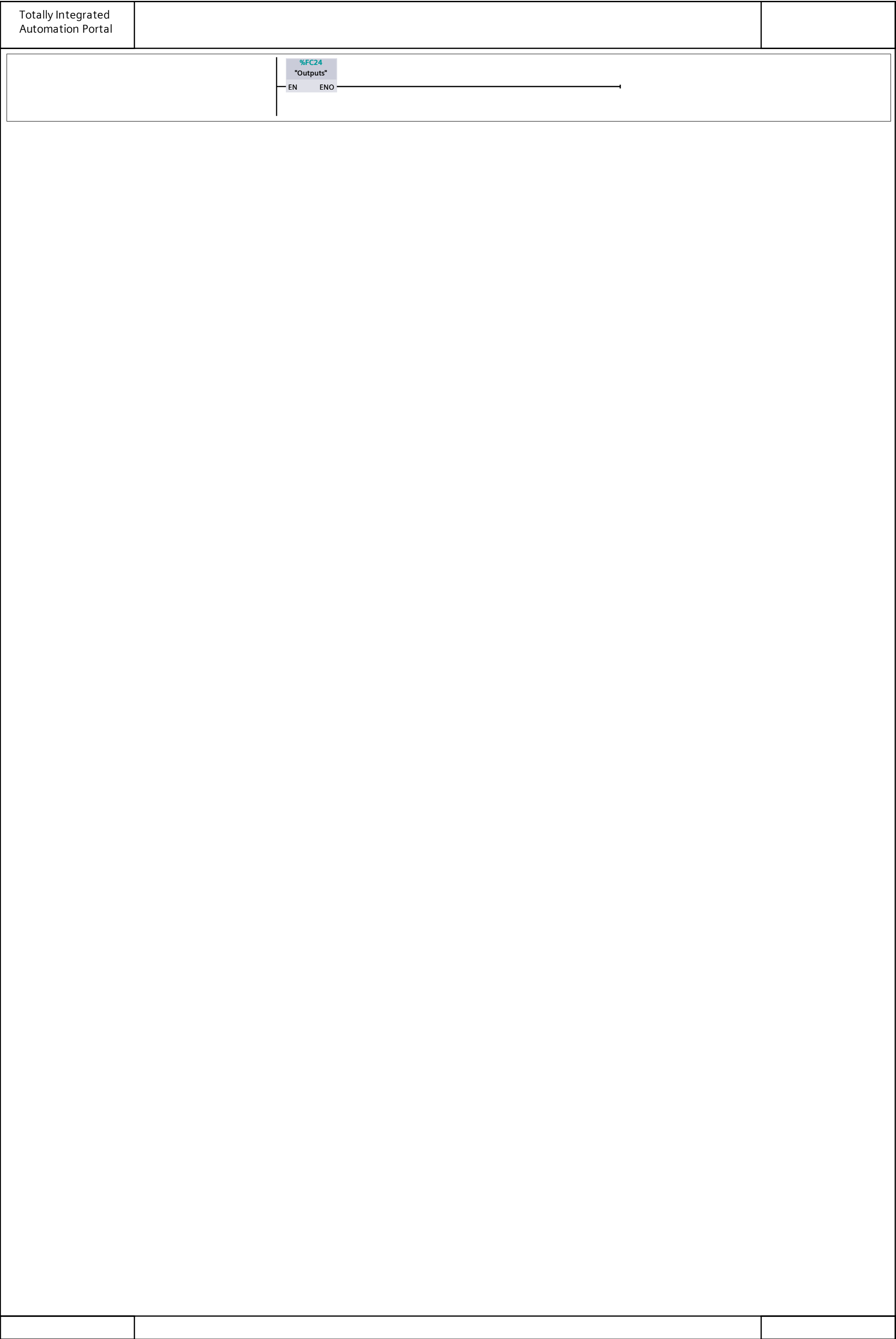
Network 14:



Network 15:



Network 16:



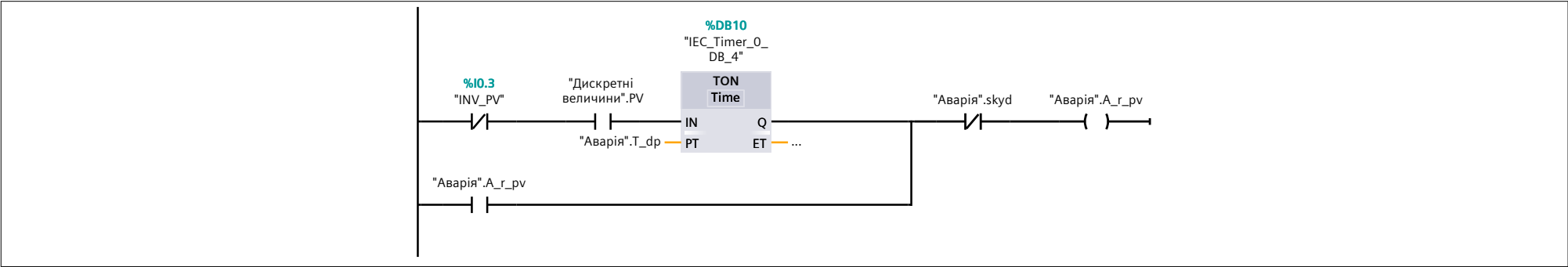
Program blocks

Avarii [FC2]

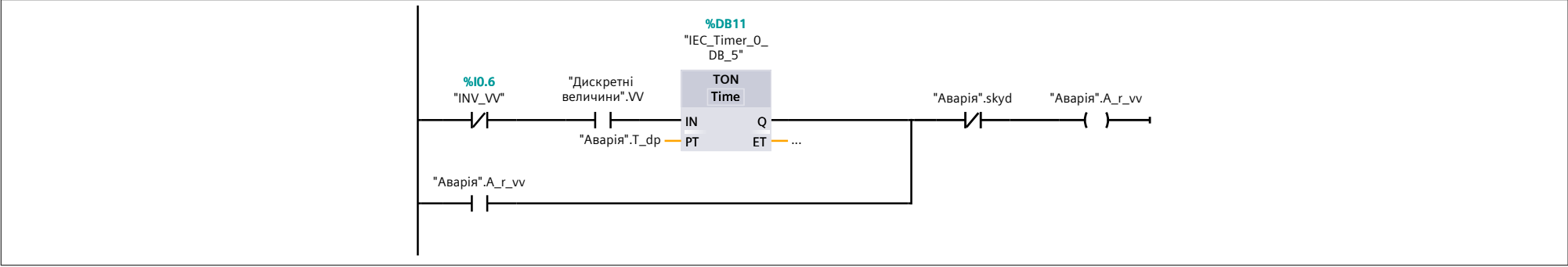
Avarii Properties							
General							
Name	Avarii	Number	2	Type	FC	Language	LAD
Numbering	Automatic						
Information							
Title		Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

Name	Data type	Default value	Supervision	Comment
Input				
Output				
InOut				
Temp				
Constant				
▼ Return				
Avarii	Void			

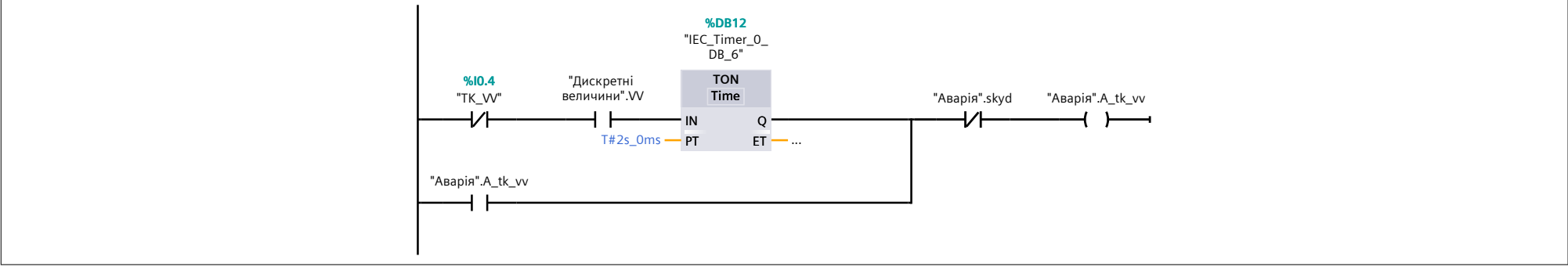
Network 1:



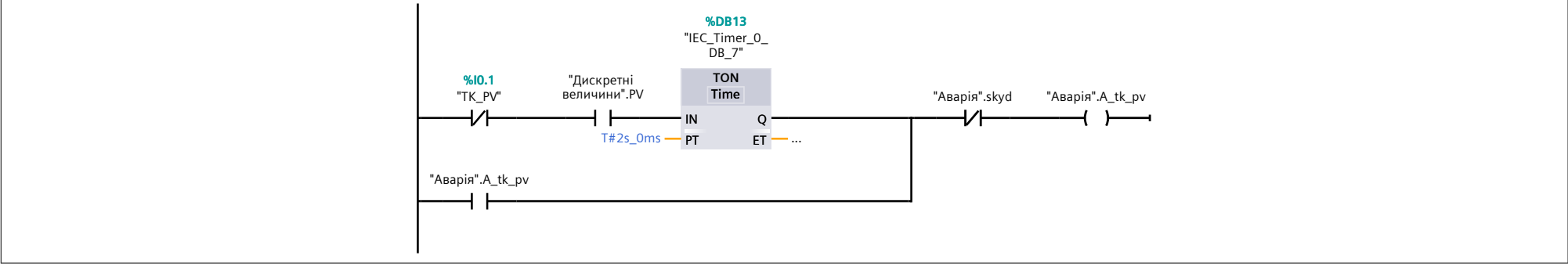
Network 2:



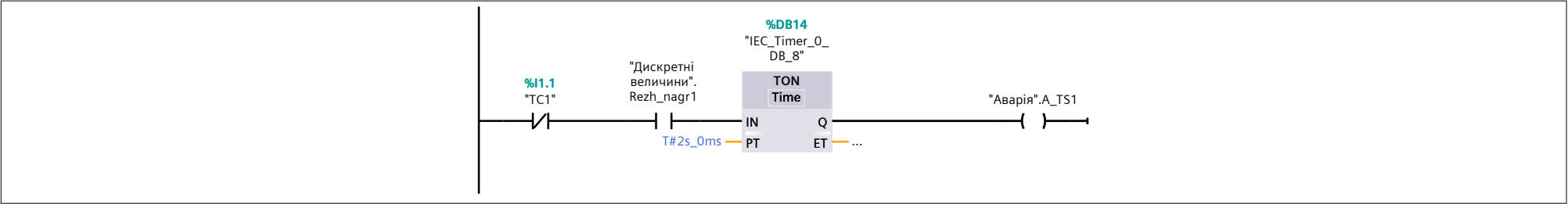
Network 3:



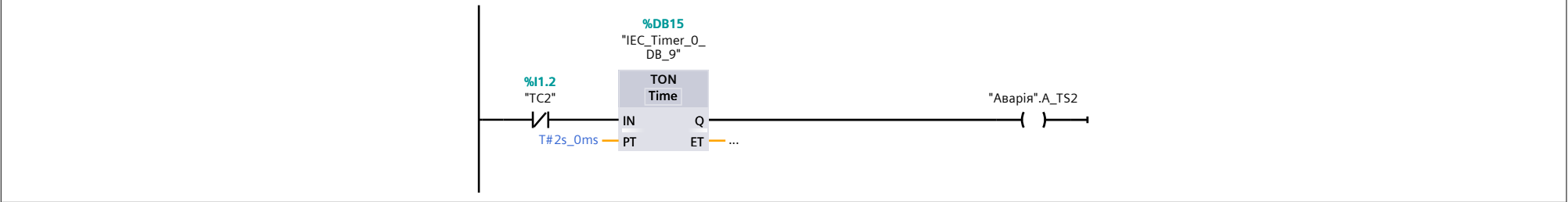
Network 4:



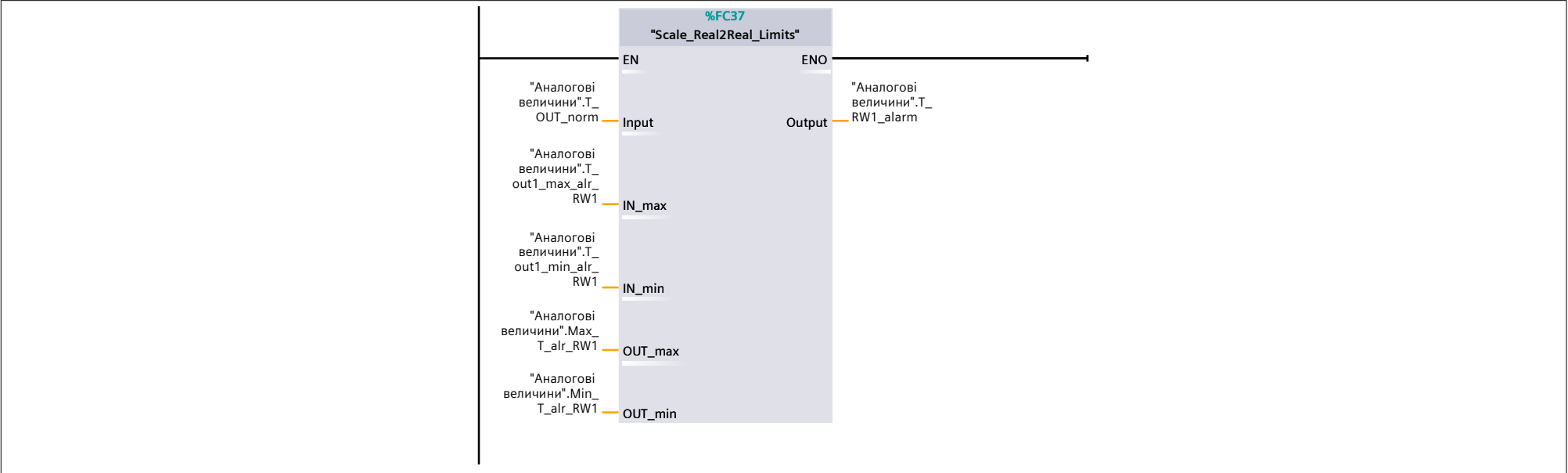
Network 5:



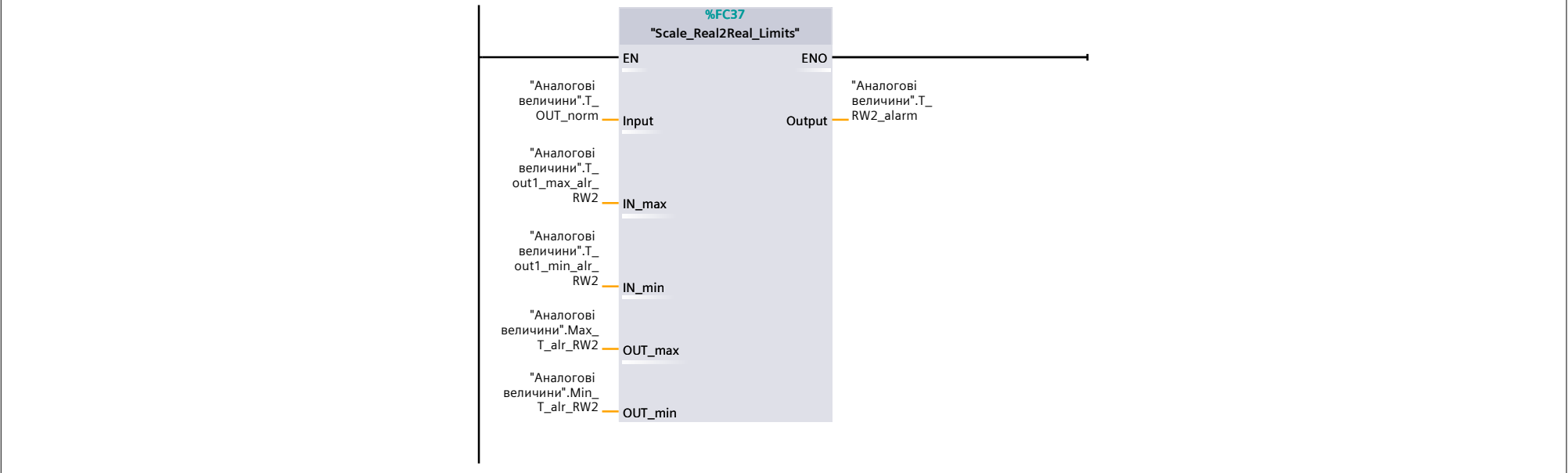
Network 6:



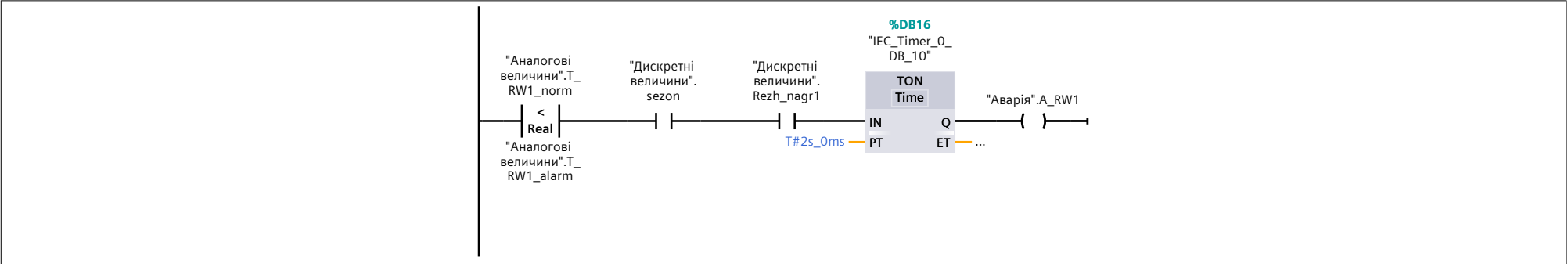
Network 7:



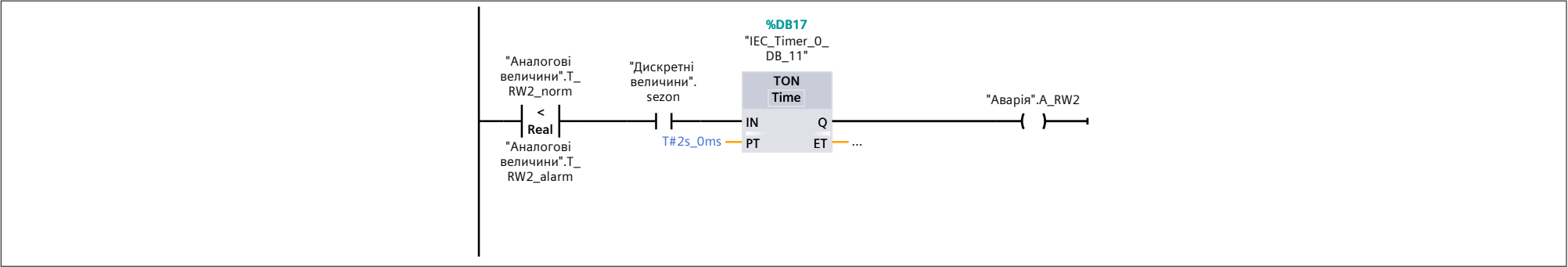
Network 8:



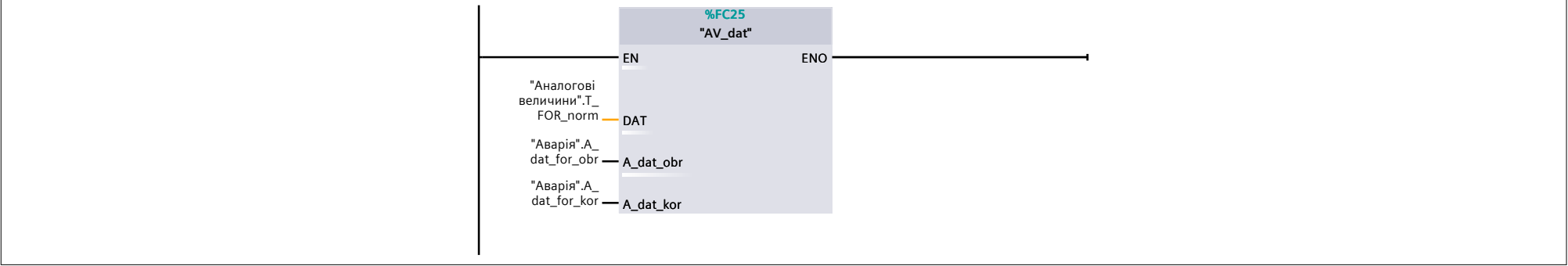
Network 9:



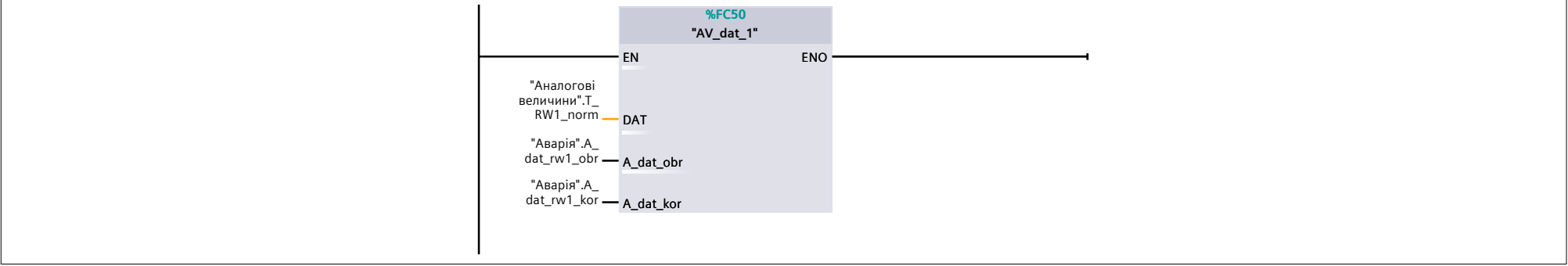
Network 10:



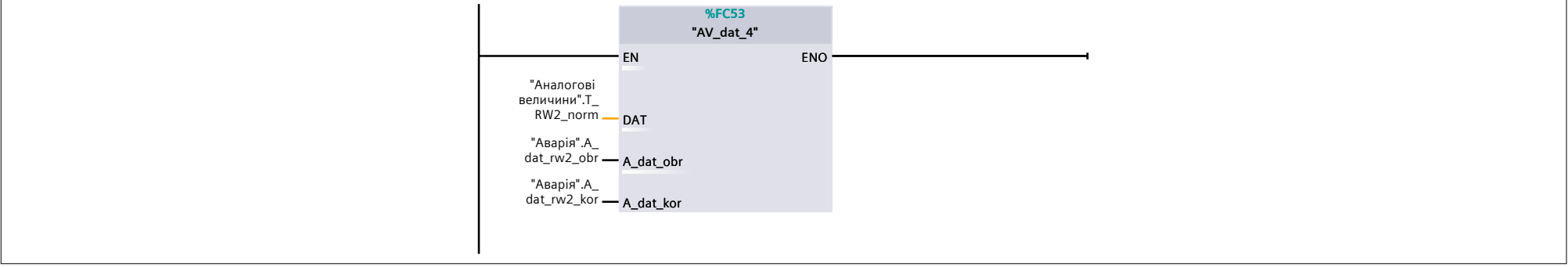
Network 11:



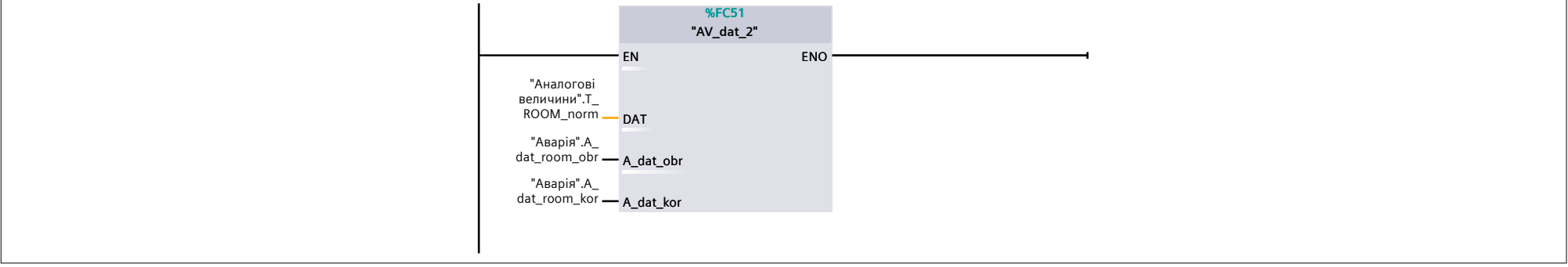
Network 12:



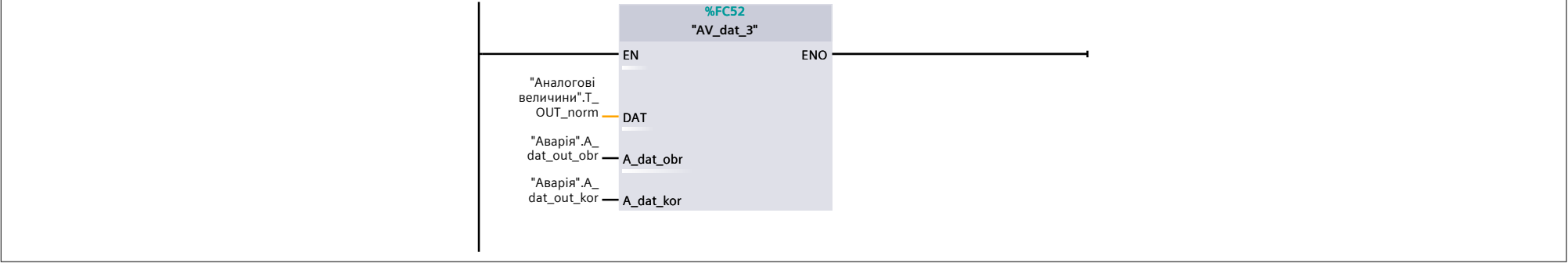
Network 13:



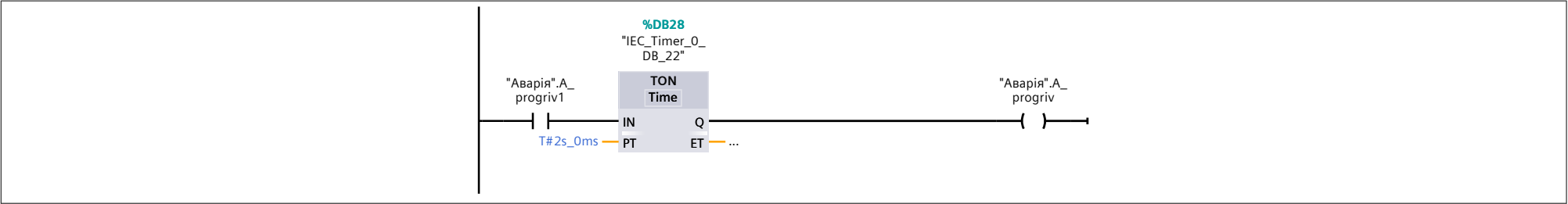
Network 14:



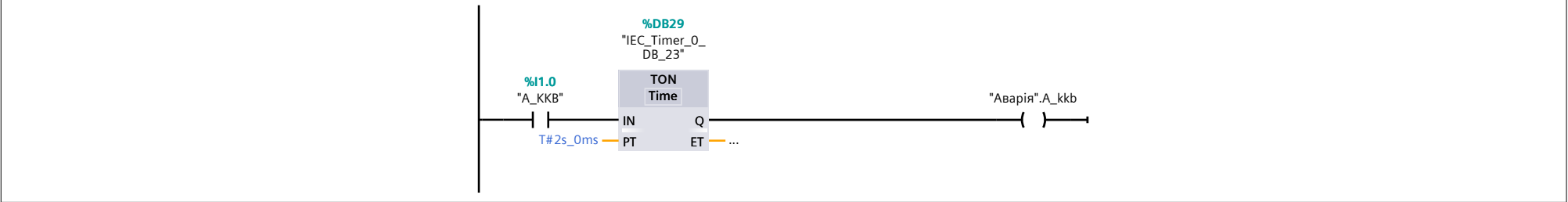
Network 15:



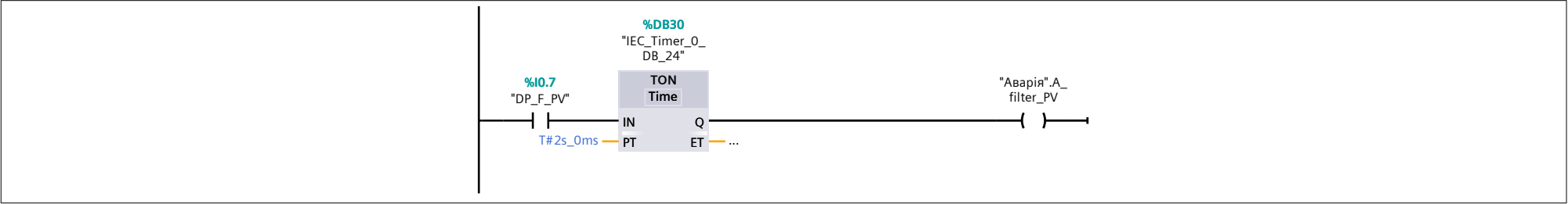
Network 16:



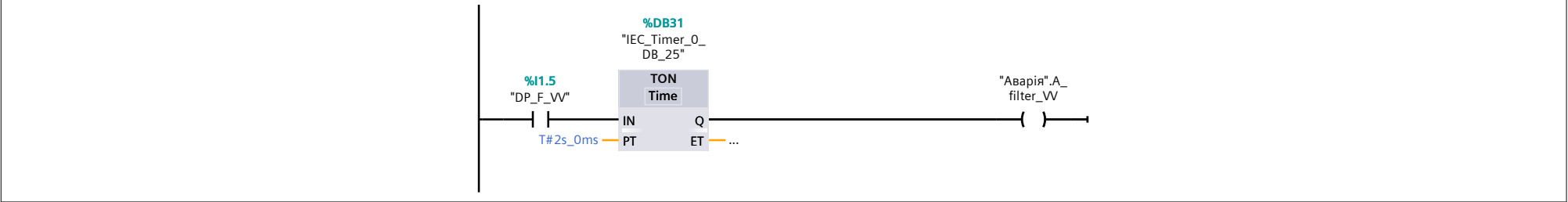
Network 17:



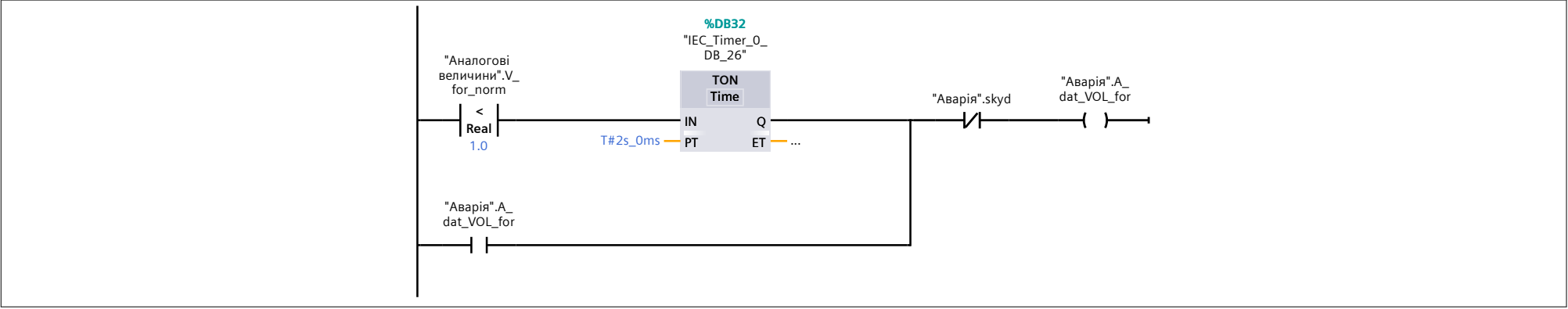
Network 18:



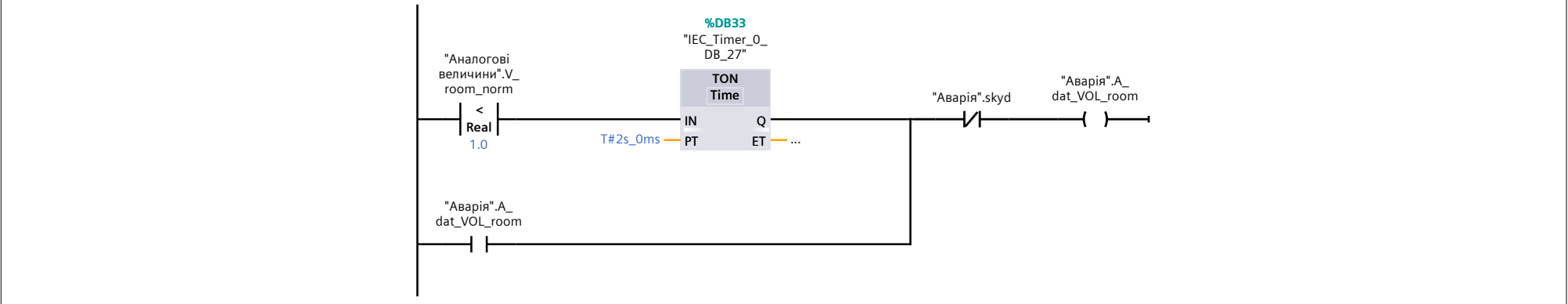
Network 19:



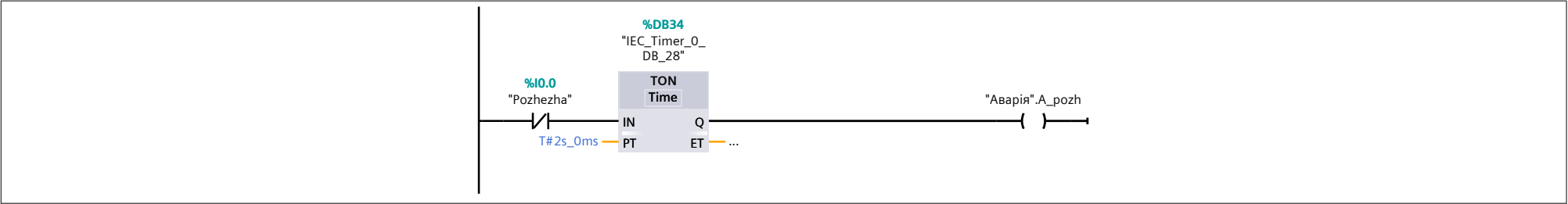
Network 20:



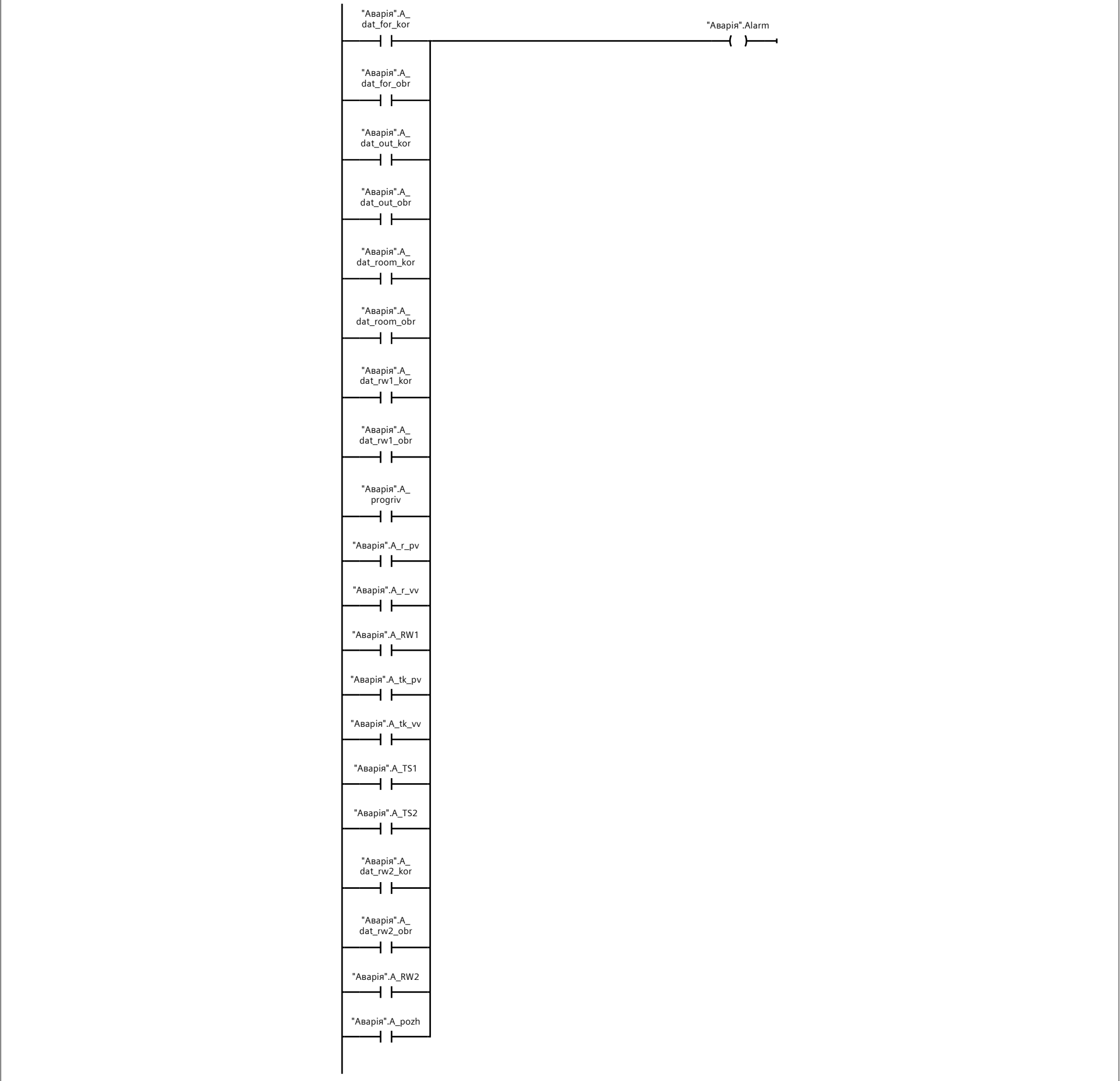
Network 21:



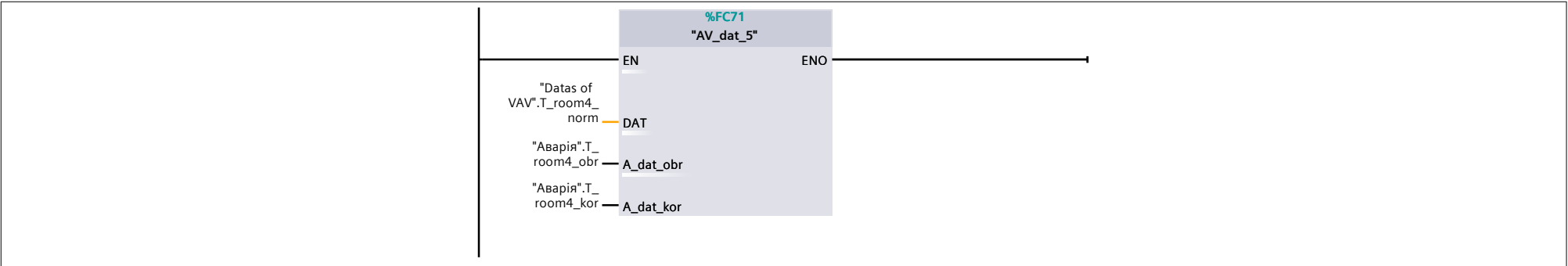
Network 22:



Network 23:



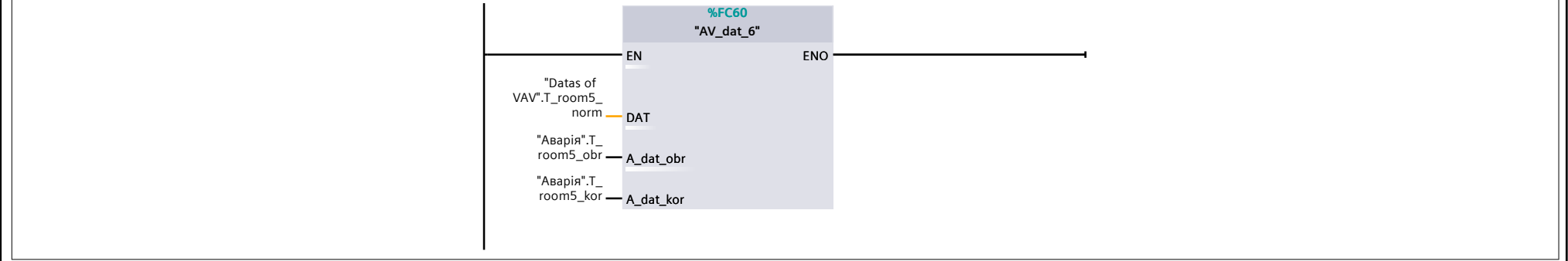
Network 24:



Network 25:

```

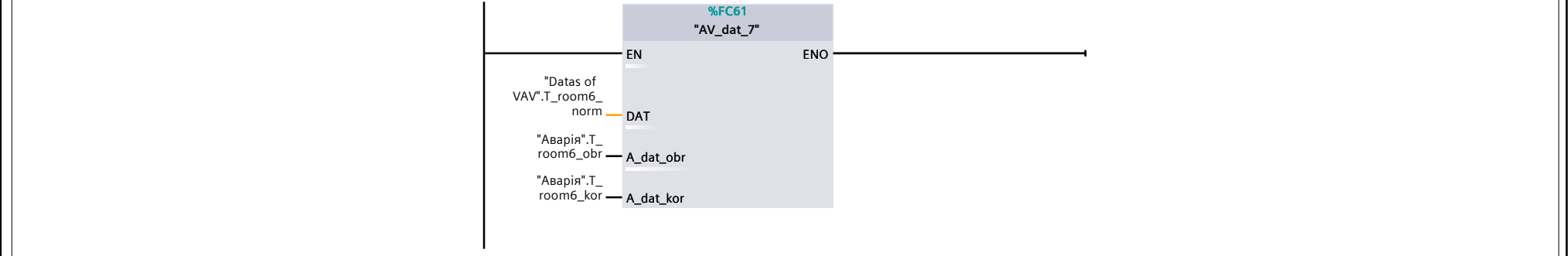
graph LR
    EN[EN] --- ENO[ENO]
    EN --- DAT[DAT]
    EN --- A_dat_obr[A_dat_obr]
    EN --- A_dat_kor[A_dat_kor]
    ENO --- ENO_out[ ]
    DAT --- Dats[Dats of VAV.T_room5_norm]
    A_dat_obr --- Avaria_obr[Аварія.T_room5_obr]
    A_dat_kor --- Avaria_kor[Аварія.T_room5_kor]
    
```



Network 26:

```

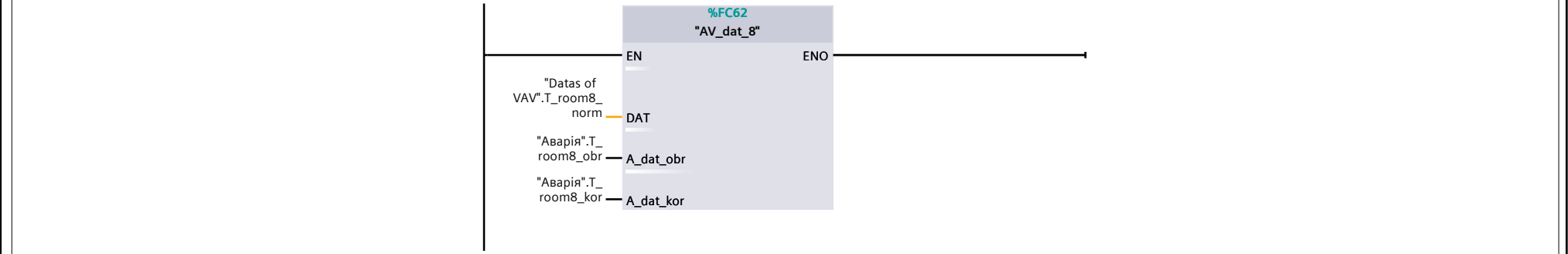
graph LR
    EN((EN)) --- FB[%FC61  
"AV_dat_7"]
    FB --- ENO((ENO))
    FB --- DAT[DAT]
    FB --- A_dat_obr[A_dat_obr]
    FB --- A_dat_kor[A_dat_kor]
    DAT --- Dats[Dats of VAV".T_room6_norm"]
    A_dat_obr --- Avar_obr["Авария".T_room6_obr"]
    A_dat_kor --- Avar_kor["Авария".T_room6_kor"]
  
```



Network 27:

```

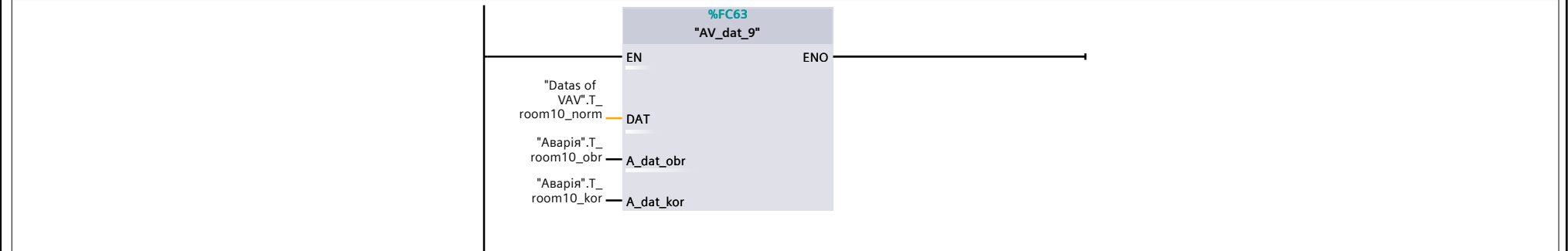
graph LR
    EN[EN] --> FC62[FC62: AV_dat_8]
    FC62 --> ENO[ENO]
    DAT[DAT: "Dats of VAV".T_room8_norm] --> FC62
    A_dat_obr[A_dat_obr: "Аварія".T_room8_obr] --> FC62
    A_dat_kor[A_dat_kor: "Аварія".T_room8_kor] --> FC62
    ENO --> N28[Network 28]
  
```



Network 28:

```

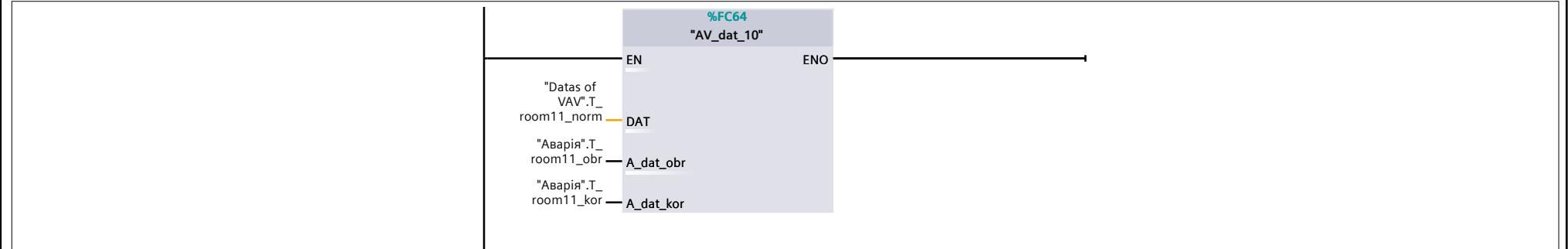
graph LR
    EN((EN)) --- FB[%FC63  
"AV_dat_9"]
    FB --- ENO((ENO))
    FB --- DAT[DAT]
    FB --- A_dat_obr[A_dat_obr]
    FB --- A_dat_kor[A_dat_kor]
    Dats["Dats of VAV".T_room10_norm] --- DAT
    Avaria_obr["Аварія".T_room10_obr] --- A_dat_obr
    Avaria_kor["Аварія".T_room10_kor] --- A_dat_kor
  
```



Network 29:

```

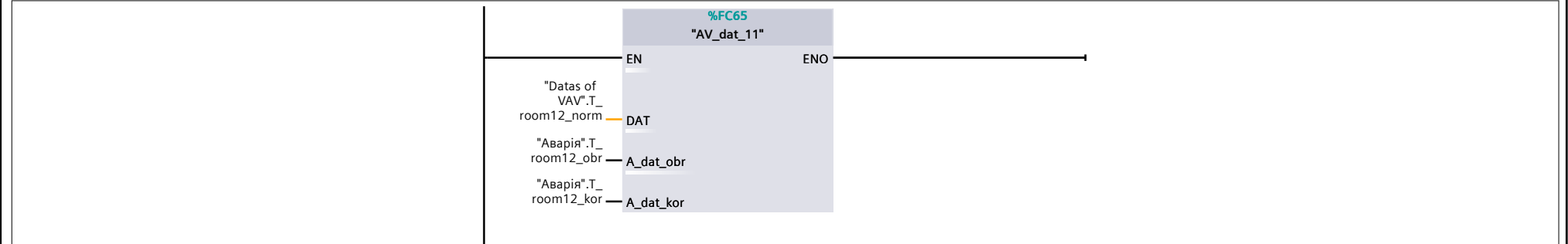
graph LR
    EN[EN] --> Coil["%FC64  
AV_dat_10  
ENO"]
    Coil --> DAT[DAT  
"Dats of VAV".T_room11_norm']
    Coil --> A_dat_obr[A_dat_obr  
"Авария".T_room11_obr']
    Coil --> A_dat_kor[A_dat_kor  
"Авария".T_room11_kor']
  
```



Network 30:

```

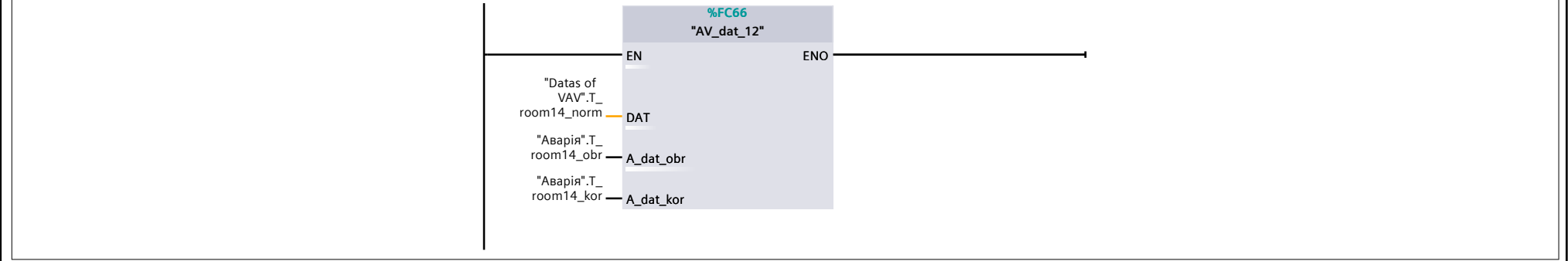
graph LR
    EN((EN)) --- FB[%FC65  
"AV_dat_11"]
    FB --- ENO((ENO))
    FB --- DAT[DAT]
    FB --- A_dat_obr[A_dat_obr]
    FB --- A_dat_kor[A_dat_kor]
    DAT --- VAV["Dats of VAV".T_room12_norm]
    A_dat_obr --- Avaria_obr["Аварія".T_room12_obr]
    A_dat_kor --- Avaria_kor["Аварія".T_room12_kor]
  
```



Network 31:

```

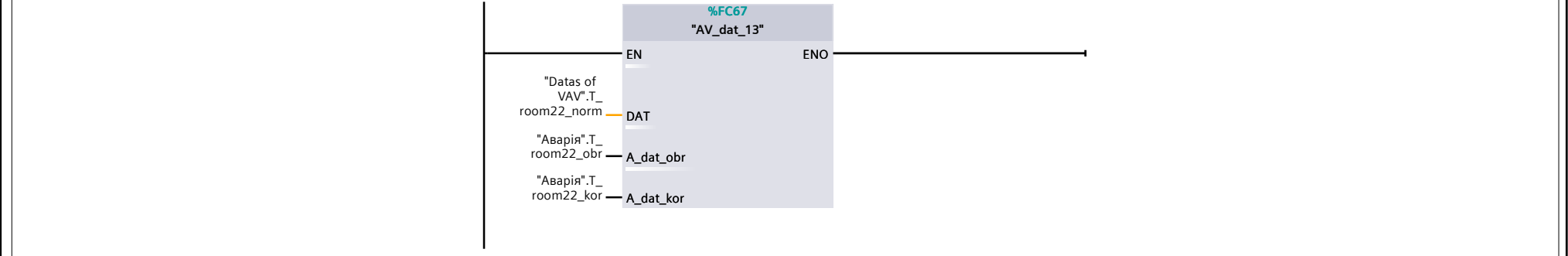
graph LR
    EN[EN] --> FC66[%FC66]
    ENO[ENO] --> Out[ ]
    DAT[DAT] --> FC66
    A_dat_obr[A_dat_obr] --> FC66
    A_dat_kor[A_dat_kor] --> FC66
    subgraph Labels
        Dats["Dats of VAV'.T_room14_norm'"] --- DAT
        Obr["Аварія'.T_room14_obr'"] --- A_dat_obr
        Kor["Аварія'.T_room14_kor'"] --- A_dat_kor
    end
  
```



Network 32:

```

graph LR
    EN((EN)) --- FB[%FC67  
"AV_dat_13"]
    FB --- ENO((ENO))
    FB --- DAT[DAT]
    FB --- A_dat_obr[A_dat_obr]
    FB --- A_dat_kor[A_dat_kor]
    DAT --- VAV["Dats of VAV".T_room22_norm]
    A_dat_obr --- Avarya_obr["Авария".T_room22_obr]
    A_dat_kor --- Avarya_kor["Авария".T_room22_kor]
  
```

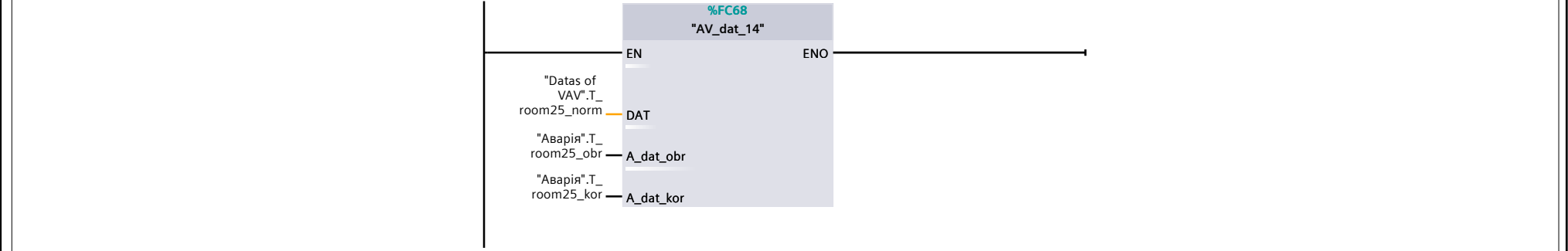


Network 33:

```

graph LR
    EN[EN] --> Coil["%FC68  
AV_dat_14"]
    Coil --> ENO[ENO]
    ENO --- TermBlock[Terminal Block]
    subgraph TerminalBlock [Terminal Block]
        direction TB
        DAT[DAT]
        A_dat_obr["Аварія'.Т_ room25_obr'"]
        A_dat_kor["Аварія'.Т_ room25_kor'"]
        Unlabeled[ ]
    end

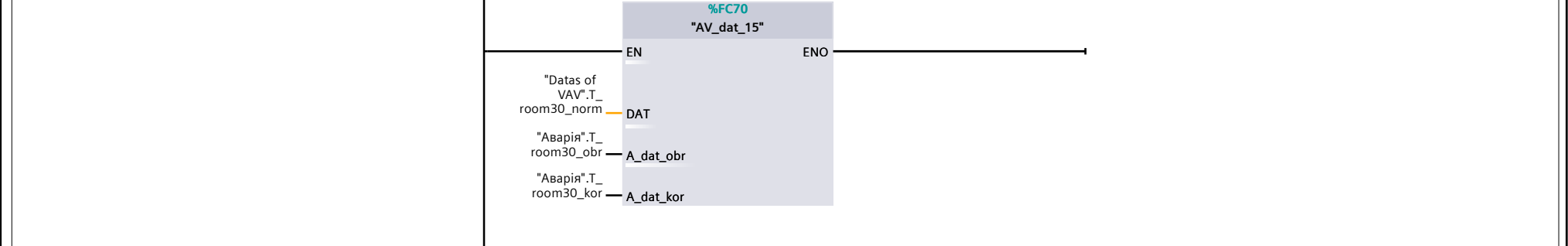
```



Network 34:

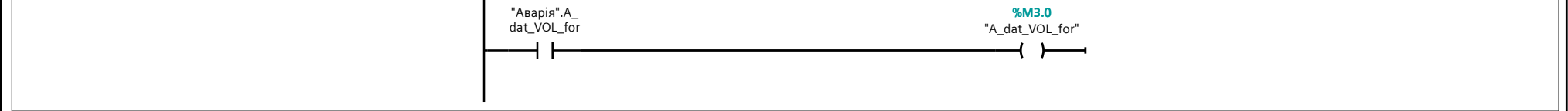
```

graph LR
    EN[EN] --- FC70[FC70]
    DAT[DAT] --- FC70
    A_dat_obr[A_dat_obr] --- FC70
    A_dat_kor[A_dat_kor] --- FC70
    FC70 --> ENO[ENO]
    subgraph Variables
        V1["Dats of VAV'.T_room30_norm'"]
        V2["Аварія'.T_room30_obr'"]
        V3["Аварія'.T_room30_kor'"]
        V4["Аварія'.T_room30_kor'"]
    end
    V1 --- EN
    V2 --- DAT
    V3 --- A_dat_obr
    V4 --- A_dat_kor
  
```



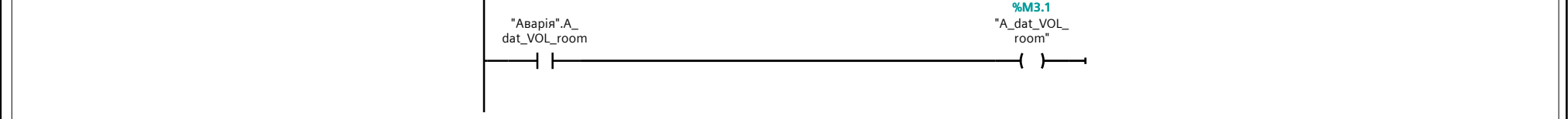
Network 35:

The diagram for Network 35 shows a horizontal line representing a connection. On the left end, there is a vertical line segment. Above this segment, the text "Аварія".A_dat_VOL_for is written. On the right end of the horizontal line, there is a vertical line segment. Above this segment, the text "A_dat_VOL_for" is written. A green label "%M3.0" is positioned above the horizontal line, centered between the two vertical segments.



Network 36:

The diagram shows a horizontal line representing a network connection. On the left side, there is a vertical line segment. To the right of this segment, the text "Авария".A_dat_VOL_room is written. Further to the right, the text "A_dat_VOL_room" is written, with a teal-colored label "%M3.1" positioned above it. The connection is indicated by a horizontal line with short vertical segments at each end.



Network 37:

```
graph LR; A["Аварія".A_filter_PV"] --- B["%M3.2 "A_filter_PV""]; B --- C[Terminal Block];
```

