

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

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в металургії та
гірництві»
за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

**на тему «Автоматизована система охолодження холодильних плит
шахти доменної печі в умовах металургійного комбінату»**

Керівник роботи

Олексій КОЙФМАН

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень та напрацювань.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело. Електронний та паперовий варіанти роботи є ідентичними*

Кваліфікаційна робота містить інформацію з обмеженим доступом

Здобувач

Олексій СИТНИК

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

Голова ЕК

Олег БОНДАР

Запоріжжя 2026



	ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет	автоматизації виробництва, інформаційних та управлінських технологій
Кафедра	автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	бакалавр
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
ОПП	Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в металургії та гірництві

ЗАТВЕРДЖУЮ
Гарант ОПП

_____ Вікторія МІРОШНИЧЕНКО
27.04.2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Ситнику Олексію Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Автоматизована система охолодження холодильних плит шахти доменної печі в умовах металургійного комбінату
керівник роботи Койфман Олексій Олександрович, доцент, канд. техн. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету №41/23.02.2026 від 23.02.2026 р.
2. Термін подання роботи 16.06.2026 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, дані металургійного комбінату, результати власних експериментів та досліджень тощо.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції). 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи управління та сигналізації технологічних параметрів. 3. Реалізація запропонованої системи. 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи. 5. Охорона праці. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема функціональна автоматизації. Схема структурна комплексу технічних засобів. Принципово-електрична схема контуру. Результати розрахунків

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Койфман О.О., доцент, канд. техн. наук
2	Койфман О.О., доцент, канд. техн. наук
3	Койфман О.О., доцент, канд. техн. наук
4	Койфман О.О., доцент, канд. техн. наук
5	Койфман О.О., доцент, канд. техн. наук

7. Дата видачі завдання 27.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	До 11.05.2026
2	Розділ 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури комп'ютерної системи управління	До 16.05.2026
3	Розділ 3. Реалізація запропонованої системи автоматизації	До 30.05.2026
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи автоматизації	До 06.06.2026
5	Розділ 5. Охорона праці	До 06.06.2026
6	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	До 08.06.2026
7	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	09.06.2026 – 13.06.2026
8	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	08.06.2026 – 13.06.2026
9	Рецензування завершеної роботи.	15.06.2026 – 20.06.2026
10	Захист	22.06.2026 – 27.06.2026

Здобувач

(Олексій СИТНИК)

Керівник роботи

(Олексій КОЙФМАН)

АНОТАЦІЯ

Ситник Олексій Сергійович. Автоматизована система охолодження холодильних плит шахти доменної печі в умовах металургійного комбінату. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в металургії та гірництві». - ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

Об'єктом дослідження є технологічний процес охолодження холодильних плит заплечиків і рядів шахти доменної печі (ДП). Предметом дослідження є автоматизована система контролю, сигналізації та регулювання параметрів водяного охолодження.

Метою роботи є підвищення керованості та діагностичних можливостей системи охолодження шляхом автоматичного регулювання витрати води з контролем тиску. Використано системний аналіз, порівняння варіантів автоматизації, аналіз виробничих архівів і розрахунків теплового показника.

У першому розділі розглянуто систему охолодження доменної печі як об'єкт автоматизації, основні підходи до охолодження та недоліки наявних рішень.

У другому розділі сформульовано задачу автоматизації, вимоги до системи, порівняно варіанти реалізації та обґрунтовано вибір локального вузла регулювання витрати.

У третьому розділі розроблено апаратну і програмну частини: склад ШРВ, перелік сигналів, підключення контуру, алгоритм автоматичного режиму, SCADA-інтерфейс і розрахункове обґрунтування.

У четвертому розділі наведено економічне обґрунтування, укрупнений кошторис і оцінку окупності. У п'ятому розділі визначено небезпечні фактори та заходи охорони праці під час впровадження й експлуатації системи.

Пояснювальна записка складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків, викладена на 52 сторінці, містить 24 таблиці, 2 рисунки, 2 додатки, перелік використаних джерел налічує 35 найменувань.

ДОМЕННА ПІЧ, ХОЛОДИЛЬНА ПЛИТА, СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ, ТЕХНІЧНА ВОДА, ВИТРАТА ВОДИ, ТИСК, ТЕПЛОЗНІМАННЯ, ПЛК, SCADA, АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	7
1.1 Система охолодження доменної печі як об'єкт автоматизації	7
1.2 Основні підходи до охолодження конструкції доменної печі.....	7
1.3 Характеристика наявної автоматизованої системи ДП.....	8
1.4 Недоліки існуючих систем охолодження	8
1.5 Сучасні тенденції розвитку систем охолодження	9
1.6 Висновки до розділу 1 і зв'язок із запропонованим покращенням	10
2 ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ КЕРУВАННЯ	11
2.1 Постановка задачі автоматизації.....	11
2.2 Вимоги до запропонованої системи	11
2.3 Порівняння варіантів реалізації структури керування	12
2.4 Вибір технічних засобів та обґрунтування	14
2.5 Алгоритм захисту від зниження тиску.....	17
2.6 Очікуваний результат модернізації	18
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	19
3.1 Загальна архітектура реалізації.....	19
3.2 Апаратна частина системи.....	20
3.3 Перелік сигналів запропонованої системи	22
3.4 Програмна частина ПЛК.....	24
3.5 Операторський інтерфейс і SCADA.....	26
3.6 Підключення одного контуру регулювання	27
3.7 Розрахункове обґрунтування на основі виробничих архівів	28
3.8 Програмна перевірка достовірності сигналів	30
3.9 Висновки до розділу 3	32
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ.....	34
4.1 Вихідні умови економічної оцінки	34
4.2 Склад витрат на модернізацію	35
4.3 Джерела очікуваного економічного ефекту	37
4.4 Показники ефективності.....	38
4.5 Висновки до розділу 4	39
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	40
5.1 Характеристика небезпечних і шкідливих факторів	40
5.2 Організаційні заходи безпеки.....	41
5.3 Безпека монтажу, електромонтажу та налагодження	41
5.4 Пожежна безпека, санітарні вимоги та робота оператора	42
5.5 Висновки до розділу 5	43
ВИСНОВКИ	44
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45
ДОДАТОК А.....	48
ДОДАТОК Б.....	51



ВСТУП

Робота доменної печі відбувається у безперервному високотемпературному режимі, тому порушення теплового стану корпусу, кладки або холодильних елементів може швидко перейти з технологічного відхилення в аварійну ситуацію. Через це система охолодження не є лише допоміжною інженерною мережею: вона безпосередньо впливає на безпечність експлуатації, кампанійну довговічність і стабільність виплавки чавуну.

Для системи охолодження критичними є не тільки покази температури холодильних плит, а й гідравлічні параметри: витрата, тиск, перепад температур і стан водяних контурів. Саме ці параметри визначають, чи може автоматизована система своєчасно виявити погіршення охолодження і не допустити режиму з недостатнім напором або витратою.

Актуальність роботи зумовлена тим, що наявна автоматизована система ДП забезпечує збір, візуалізацію, архівування, аварійну сигналізацію та розрахунок теплознімання, але не усуває конструктивні й гідравлічні обмеження самої системи охолодження. До таких обмежень належать використання чавунних трубок замість більш теплопровідних мідних рішень, робота з проточною технічною водою та залежність витрати від режиму заводської водяної мережі.

Метою роботи є обґрунтування модернізації автоматизованої системи охолодження холодильних плит шахти доменної печі (ДП) шляхом розвитку контролю, сигналізації та автоматичного регулювання витрати води з урахуванням фактичних обмежень діючої гідравлічної схеми.

Для досягнення мети у роботі передбачено: проаналізувати технологічну роль системи охолодження; визначити недоліки існуючих систем; порівняти сучасні напрями побудови контурів охолодження; сформулювати вимоги до автоматизації; запропонувати структуру контролю та регулювання; використати архівні тренди тиску, витрати і температур для перевірки прийнятих рішень; виконати технічну, економічну та безпекову оцінку запропонованого рішення.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Система охолодження доменної печі як об'єкт автоматизації

У доменному процесі сировина, кокс і флюси переміщуються зверху вниз, а гарячі відновлювальні гази рухаються назустріч шихті. У нижніх зонах печі формуються найвищі температури, тому металевий кожух, футерівка та холодильні елементи працюють під дією значних теплових, механічних і хімічних навантажень. Система охолодження повинна відводити надлишкову теплоту, але водночас не повинна створювати надмірних тепловтрат, які збільшують витрату палива.

Система охолодження як об'єкт автоматизації характеризується сукупністю взаємопов'язаних параметрів: температурою води на вході та виході, температурою тіла холодильних плит, витратою через контури, тиском у напірній частині та розрахунковим теплосніманням. Відхилення одного параметра не завжди достатньо для оцінки стану, тому алгоритми контролю мають працювати з комбінацією температурних і гідравлічних ознак.


Наявна система охолодження ДП охоплює заплечики і 1-4 ряди шахти, у яких використовується технічна вода. Автоматизований рівень побудований на ПЛК ControlLogix, віддалених модулях вводу-виводу, мережі EtherNet/IP і SCADA FactoryTalk View SE. Така база забезпечує моніторинг, сигналізацію та архівування, але сама по собі не створює керованої гідравлічної організації водяної мережі.

1.2 Основні підходи до охолодження конструкції доменної печі

У практиці доменного виробництва застосовувалися та застосовуються різні рішення: зовнішнє зрошення кожуха, холодильні коробки й плити, чавунні або сталеві холодильні елементи з внутрішніми водяними каналами, мідні плити та мідні стави, а також замкнуті контури з підготовленою водою. Вибір рішення залежить від теплового навантаження зони печі, вимог до кампанійної довговічності, стану існуючого кожуха, доступного бюджету і можливостей водопідготовки.

У технічних описах виробників і галузевих оглядах розвиток систем охолодження пов'язують із переходом від точкового охолодження плитами до більш рівномірного охолодження ставами. Primetals зазначає, що з ростом тривалості кампаній і продуктивності обмеження чавунних ставів у зонах високого теплового навантаження стали помітнішими, тому для таких зон почали застосовувати мідні стави [2]. Danieli Corus розвиває інтегроване рішення на базі щільного розташування мідних плит і високотеплопровідної графітової футерівки для формування захисного гарнісажу [3].

Окремим напрямом є перехід від відкритих або напіввідкритих водяних схем до замкнутих контурів. У брошурі Paul Wurth/SMS group для доменних печей як типове рішення описано два або три азотно-підтиснені



електромагнітними витратомірами для контролю різниці між подачею і зворотом охолоджувальної води [4]. Emerson розглядає вимірювання витрати як складову виявлення витоків і стабілізації охолодження доменної печі [5]. Zhang та ін. показують, що теплові потоки через футерівку і холодильники можуть оцінюватися за виміряними перепадами температури води та витратою [7].

Берлінський і Гжибовська досліджували розвиток «інтелектуального» холодильника з додатковими сенсорами, моделюванням роботи охолоджувальних каналів і аналізом експлуатаційних даних [6]. Практичний висновок для цієї системи полягає в тому, що вимірні сигнали мають використовуватися не тільки для відображення на екрані, а й для автоматичної перевірки достовірності, попереджувальної сигналізації та обмеження керуючих дій.

1.6 Висновки до розділу 1 і зв'язок із запропонованим покращенням

Зіставлення технологічних і автоматизаційних особливостей показує, що наявна система має достатню інформаційну основу для контролю температур, витрат, трендів і теплоснімання. Її слабким місцем залишається відсутність автоматичного регулювання водного режиму з урахуванням тиску, мінімальної витрати та пріоритету охолоджуваних зон.

За результатами аналізу для подальшої розробки приймається модернізація у вигляді автоматизованого регулювання витрати води на охолодження шахти печі з урахуванням температур, витрат і тиску у відповідних контурах. Обґрунтування цього вибору є поєднання трьох фактів: існує вимірювальна база для оцінки стану охолодження, водний режим залишається обмежено керованим, а запас тиску у верхній частині шахти вже є малим.

Тому система автоматизації повинна включати контроль тиску на подачі та у верхній частині шахти, контроль витрати й температури по контурах, алгоритм підтримання необхідної витрати з обмеженнями безпеки, попереджувальну сигналізацію зниженого тиску або витрати, а також блокування режимів, у яких додаткові регульовальні органи можуть поглибити наявну проблему гідравлічного режиму. Повна заміна проточної води на замкнутий контур із підготовленою водою розглядається як можливий напрям розвитку, а в цій роботі приймається поетапне впровадження керованого вузла регулювання.



2 ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ КЕРУВАННЯ

2.1 Постановка задачі автоматизації

Результати аналізу предметної області показали, що наявна автоматизована система охолодження ДП забезпечує збір, обробку, візуалізацію та архівування параметрів, але водний режим окремих рядів шахти залишається обмежено керованим. Основна інженерна задача полягає не в заміні всієї існуючої АСУТП, а в додаванні контуру автоматичного регулювання, який дозволить перерозподіляти витрату води між рядами шахти без погіршення тиску в критичних зонах.

Об'єктом керування у запропонованій модернізації є водний режим охолодження 1-4 рядів шахти доменної печі. Керованими величинами у базовому варіанті є положення регулювальних органів у напірних колекторах або зональних відгалуженнях рядів. Продуктивність наявної насосної станції не входить до керованих величин шафи регулювання витрати (ШРВ), оскільки чинні насоси працюють від контакторних схем і не мають оперативного зв'язку з АСУТП об'єкта. Частотне регулювання може бути використане лише для окремого локального підвищувального вузла або як наступний етап модернізації після погодження з цехом водопостачання.

Головна вимога до модернізації - підвищити керованість охолодження без погіршення вже обмеженого запасу тиску. Тому тиск не можна розглядати як другорядний параметр: у верхній частині шахти він уже є критичним порівняно з тиском на вході до печі. Якщо регулювання витрати виконати простим прикриттям арматури без контролю мінімального напору, система може поглибити наявну проблему. Отже, структура керування має спочатку перевіряти запас тиску, а вже потім дозволяти перерозподіл води між охолоджуваними зонами.

2.2 Вимоги до запропонованої системи

Запропонована система автоматизації повинна виконувати такі функції:

- безперервно вимірювати витрату води на кожний керований ряд шахти та сумарну витрату на подачі;
- контролювати тиск на подачі, у критичній верхній зоні та за потреби на зворотній лінії;
- обчислювати перепад температур і теплознімання по контурах за наявними алгоритмічними підходами;
- за наявності окремого локального підвищувального вузла формувати обмежене завдання його частотному перетворювачу; у базовому варіанті використовувати контур тиску як дозвіл або блокування регулювання затворами;

- перерозподіляти потоки між рядами шахти через електрифіковану регульовальну арматуру;
- не допускати прикриття арматури нижче мінімально безпечного положення при зниженні тиску або витрати;
- переходити у безпечний режим у разі втрати зв'язку, відмови датчика, аварії приводу або ручного втручання оператора;
- передавати в існуючу SCADA положення арматури, стан локального частотно-керованого вузла за наявності, витрати, тиски, аварії, попередження і режими роботи.

З огляду на те, що наявна АСУТП побудована на ControlLogix та FactoryTalk View SE, модернізацію доцільно виконувати як додатковий функціональний вузол. Він не повинен руйнувати існуючу архітектуру моніторингу, але має забезпечити автономне виконання локальних захистів навіть при втраті зв'язку з верхнім рівнем.

За результатами аналізу архівів до вимог додаються кількісні умови: контроль мінімального тиску на водоводах і в зональних колекторах, блокування подальшого прикриття затворів при $P < P_{min}$, контроль мінімальної витрати F_{min} , відбракування недостовірних температурних каналів і пріоритет зон із вищим розрахунковим тепловим показником. Такий набір вимог пов'язує структуру керування не з абстрактним регулюванням, а з фактичним станом об'єкта.

2.3 Порівняння варіантів реалізації структури керування

Для практичної реалізації розглянуто кілька технічних варіантів. Критеріями порівняння є обсяг втручання в діючу систему, можливість поетапного впровадження, наявність локальних захистів, складність інтеграції з SCADA та вплив на гідравлічний режим.

Вихідною умовою є те, що існуюча система ДП уже має працездатний рівень контролю, архівування і операторської візуалізації на базі ControlLogix, віддалених кошиків FLEX I/O, EtherNet/IP DLR та FactoryTalk View SE. Тому модернізація не повинна виглядати як повна заміна діючої АСУТП. Вона має додати керований контур витрати й тиску, не порушуючи чинні функції моніторингу та сигналізації.

Порівняння розглянутих варіантів реалізації структури керування наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння варіантів реалізації структури керування

Вар.	Суть реалізації	Переваги	Обмеження та висновок
1. Окремий Siemens-вузол регулювання з інтеграцією в існуючу SCADA	Установлюється локальна шафа регулювання з S7-1500/ET 200SP, модулями вводу-виводу для тиску, витрати й положення затворів. Частотний перетворювач використовується лише для окремого локального підвищувального вузла або наступного етапу.	Дає змогу реалізувати апаратну і програмну частини модернізації; локальні захисти за тиском і витратою можуть працювати автономно від SCADA.	Потрібен узгоджений обмін між Siemens-вузлом і наявною АСУТП. Варіант приймається як базовий для розділу 3, оскільки не потребує прямого втручання в існуючу насосну станцію.
2. Розширення існуючого ControlLogix /FLEX I/O	Нові датчики та приводи підключаються безпосередньо до існуючої платформи ControlLogix або до додаткових кошиків FLEX I/O.	Максимальна сумісність з наявною системою; простіше вписати нові сигнали в чинну SCADA та архів.	Може вимагати втручання в діючу програму ПЛК і верифікації змін у критичній системі. Менш зручний для поетапного виділення окремого апаратно-програмного вузла.
3. Повна Siemens-система з окремим HMI/SCADA	Створюється нова система керування з власним контролером, периферією, HMI або SCADA-рівнем, яка дублює значну частину функцій існуючої АСУТП.	Єдина платформа нового обладнання; зручно для навчального макета або повної реконструкції.	Надмірний обсяг для поетапної модернізації; ризик дублювання існуючих функцій FactoryTalk; більші витрати і складніша інтеграція.

За результатами порівняння приймається варіант 1: окремий вузол регулювання витрати з інтеграцією в існуючу SCADA/АСУТП. Такий

варіант забезпечує поетапну модернізацію без повної заміни діючої системи, оскільки новий вузол працює з власними датчиками, приводами та локальними захистами, а верхній рівень використовується для відображення, архівування і сигналізації.

Обраний варіант передбачає встановлення шафи регулювання витрати, підключення витратомірів, датчиків тиску, модулюючих приводів затворів, реалізацію алгоритмів ПЛК і передачу технологічних станів у SCADA.

2.4 Вибір технічних засобів та обґрунтування

Вибір технічних засобів виконано для прийнятого варіанта ШРВ з урахуванням трьох критеріїв: технічної придатності для водяних контурів доменної печі, сумісності з промисловими системами автоматизації, наявності відкритої технічної документації виробників і можливості інтеграції з існуючим рівнем диспетчеризації.

Попередній вибір технічних засобів для прийнятого варіанта наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Вибір технічних засобів запропонованої системи


Вузол системи	Попередньо обране рішення	Обґрунтування вибору	Альтернативи / умови уточнення
Частотне регулювання локального підвищувального вузла	Siemens SINAMICS G120X або G120P	Застосовується не для існуючих насосів цеху водопостачання, а для окремого локального підвищувального вузла або наступного етапу модернізації. Siemens має відкриті підтвердження застосування на металургійний комбінат .	Типорозмір вибирається за потужністю, струмом і напругою конкретного двигуна. Якщо локальний насос не встановлюється, контур тиску працює як програмний дозвіл і захист від прикриття затворів.

Продовження таблиці 2.2

Вузол системи	Попередньо обране рішення	Обґрунтування вибору	Альтернативи / умови уточнення
Локальний контролер і периферія	Siemens SIMATIC S7-1500 з ET 200SP або окрема ET 200SP-станція	Контролер і віддалена периферія обрані як промислова модульна платформа з діагностикою, підтримкою розподілених шаф і зручною інтеграцією з верхнім рівнем. ET 200SP підтверджено документацією виробника [10].	Якщо потрібно мінімізувати кількість платформ, можливе підключення нових сигналів до існуючого ControlLogix/FLEX I/O. Остаточний варіант залежить від політики АСУТП підприємства.
Регулювальний орган у колекторах 1-4 рядів	Регулювальний поворотний затвор DN600 PN16 у напірному колекторі або зональному відгалуженні	Поворотний затвор має короткий хід 90 градусів, компактну конструкцію, придатність до автоматизації та менший опір у відкритому положенні порівняно з грубим дроселюванням засувкою. Виробники арматури допускають використання таких затворів для задач перекриття і регулювання в межах гідравлічних характеристик [13].	Якщо фактичні зональні відгалуження мають менший DN, типорозмір затвора уточнюється. Для розрахункового варіанта базовою умовою прийнято DN600 PN16.
Електропривід регулювальної арматури	AUMA SQRV .2 з ACV 01.2 або аналогічний модулюючий електропривід	SQRV призначений для модулюючого режиму, а AC/ACV-керування підтримує діагностику, аварійну поведінку та комунікаційні інтерфейси [11; 12].	Для менш частих переміщень можливий позиційний привод класу В, але для регулювання витрати переважний модулюючий клас С.

Продовження таблиці 2.2

Вузол системи	Попередньо обране рішення	Обґрунтування вибору	Альтернативи / умови уточнення
Вимірювання витрати	Siemens SITRANS FM MAG 5100 W з MAG 5000/6000 або наявний клас KROHNE OPTIFLUX	Для уніфікації з Siemens-рішенням доцільний SITRANS MAG 5100 W, оскільки він орієнтований на водяні застосування, має IP68 і SensorProm для спрощення введення в експлуатацію [16]. Водночас у вихідних матеріалах існуючої системи вже згадуються витратоміри OPTIFLUX 2050C, тому KROHNE є природною альтернативою для сумісності з наявним парком обладнання.	Остаточний вибір залежить від DN, електропровідності води, прямолінійних ділянок, потрібної точності та доступних запасних частин.
Вимірювання тиску	Siemens SITRANS P320/P420 або аналог 4-20 mA/HART	SITRANS P320/P420 покривають задачі вимірювання надлишкового, абсолютного і диференційного тиску, мають 4-20 mA/HART та промислову діагностику [17]. Єдина лінійка КВП з Siemens-платформою спрощує навчання і супровід.	Допускається Rosemount 3051 або інший промисловий перетворювач тиску, якщо він уже прийнятий на підприємстві або краще забезпечений запасними частинами.



Додатково вводиться контроль мінімальної витрати по кожному ряду. Якщо тиск формально достатній, але витрата по окремому ряду падає нижче мінімальної межі, алгоритм повинен розглядати це як небезпечний режим: збільшити відкриття відповідного затвора, перевірити достовірність витратоміра, зафіксувати попередження і заборонити оптимізаційні дії, що ще більше зменшують витрату.

Логіка роботи захисту може бути подана таким чином:

а) у нормальному режимі контур тиску підтверджує наявність запасу напору і дозволяє затворам розподіляти витрату між рядами за температурою, витратою та теплотією. Якщо встановлено окремий локальний частотно-керований вузол, він може підтримувати заданий тиск у межах погодженого діапазону; без такого вузла контур тиску працює як захист від небезпечного прикриття арматури;

б) якщо тиск наближається до попереджувального порога, контролер блокує подальше прикриття затворів, скасовує оптимізаційні команди і переводить алгоритм у режим утримання безпечного напору. За наявності локального частотно-керovanого вузла допускається підвищення його завдання в межах дозволеного діапазону;

в) якщо тиск досягає аварійного порога або витрата одного з рядів нижча за мінімум, затвори переводяться у безпечніше відкрите положення, автоматичне регулювання відповідного контуру блокується, а в SCADA формується аварійне повідомлення. Це важливо для поточної ситуації, де верхня охолоджувана частина шахти вже працює з малим запасом тиску;

г) якщо відмовив датчик тиску, витратомір або привід, відповідний контур переходить у ручний або резервний режим, а регульовальні дії по ньому блокуються до підтвердження оператором;

д) після відновлення нормальних параметрів система повертається до автоматичного регулювання тільки з витримкою часу і підтвердженням стабільності сигналів.

2.6 Очікуваний результат модернізації

Очікуваний результат запропонованої модернізації полягає у переході від переважно інформаційного контролю до керованого водного режиму охолодження шахти печі. Система повинна не просто показувати оператору температуру і витрату, а автоматично підтримувати безпечний розподіл води з урахуванням тиску та теплового стану окремих рядів.

Перевагою поетапного рішення є те, що воно не вимагає повної перебудови водяної схеми або негайного переходу на замкнутий контур з хімічно очищеною водою. Такий перехід може розглядатися як перспективний напрям, але перший етап модернізації доцільно спрямувати на регулювання, діагностику і захисти, які можна інтегрувати з чинною SCADA та наявною системою сигналізації.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Загальна архітектура реалізації

Прийнята архітектура використовує окремий вузол регулювання на базі обладнання Siemens. Його призначення - реалізувати автоматичне керування водним режимом 1-4 рядів шахти печі без повної заміни існуючої системи контролю охолодження ДП. Верхній рівень залишається на базі ControlLogix 1756-L82, віддалених кошиків FLEX I/O, EtherNet/IP DLR і FactoryTalk View SE та зберігає функції операторського контролю, архівування, трендів і аварійної сигналізації.

До складу модернізації входить ШРВ. Вона приймає сигнали від датчиків тиску, витратомірів і виконавчих механізмів, формує команди модулюючим приводам регулювальних затворів та передає на верхній рівень технологічні параметри, режими роботи, аварії, попередження і дозволи оператора. Існуюча насосна станція розглядається як зовнішній вузол без оперативного зв'язку з ШРВ; тому базовий алгоритм не повинен залежати від прямого керування цими насосами. Частотне регулювання насосного вузла допускається тільки як окремий локальний етап модернізації.

Архітектурно система поділяється на три рівні. Польовий рівень містить датчики, регулювальні затвори, приводи та, за потреби, окремий локальний частотно-керований підвищувальний вузол. Рівень локального керування містить контролер Siemens, модулі вводу-виводу, живлення, комутацію і локальні захисти. Верхній рівень залишається на базі існуючої SCADA, де оператор бачить стан контурів, змінює дозволені уставки та отримує повідомлення про відхилення.

Функціональна схема автоматизації водного режиму, структурна схема комплексу технічних засобів, схема підключення одного контуру та блок-схема автоматичного режиму наведені в графічній частині до кваліфікаційної роботи. На цих кресленнях показано склад польових приладів, ШРВ, канали обміну та послідовність роботи автоматичного режиму.

Зв'язок контролера ШРВ з вищим рівнем передбачається через промисловий Ethernet: контролер Siemens підключається до мережевого комутатора шафи, а далі дані передаються до SCADA/APM і наявної АСУТП через OPC-сервер або протокольний шлюз за потреби узгодження з чинною ControlLogix/FactoryTalk-інфраструктурою. Критичні захисні дії виконуються локально в ПЛК, а на верхній рівень передаються режими, уставки, аварії, попередження, тренди та архівні параметри.

Рівні архітектури запропонованої системи наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Рівні архітектури запропонованої системи

Рів.	Склад	Функції	Зв'язок із наявною системою
Польовий рівень	Витратоміри, перетворювачі тиску, регульовальні затвори DN600 PN16, електроприводи; локальний частотно-керований вузол тільки за потреби	Вимірювання параметрів, виконання команд регулювання, передача станів готовності та аварій	Нові сигнали підключаються до ШРВ; частина температурних і витратних параметрів може використовуватися з наявною системою
Локальний рівень	Контролер Siemens S7-1500 або ET 200SP CPU, модулі AI/AO/DI/DO, джерела живлення, промисловий Ethernet	Фільтрація, масштабування, перевірка достовірності сигналів, регулювання витрати, контроль тиску, локальні блокування	Передає в існуючу SCADA режими, аварії, тренди та розрахункові параметри
Верхній рівень	FactoryTalk View SE, архів, тренди, операторські екрани, аварійні повідомлення	Візуалізація, архівування, завдання дозволених уставок, підтвердження аварій і ручні команди оператора	Зберігає існуючу логіку диспетчеризації без повної заміни АСУТП

3.2 Апаратна частина системи

Апаратна реалізація приймається як додаткова шафа регулювання, що встановлюється поруч із існуючою інфраструктурою охолодження або в приміщенні, придатному для обслуговування КВП і А. Підхід до комплектування має узгоджуватися з уже застосованими у системі рішеннями: у вихідних технічних матеріалах згадуються шафи Rittal,

джерела живлення Phoenix Contact, модулі Allen-Bradley FLEX I/O, витратоміри KROHNE OPTIFLUX та контролер ControlLogix [20; 21].

ШРВ не повинна розривати роботу існуючої системи. Якщо вузол регулювання відключений або переведений у ручний режим, контури охолодження повинні залишатися у безпечному стані: затвори відкриваються або утримуються у дозволеному положенні, локальний частотно-керований вузол за наявності переходить у погоджений безпечний режим, а оператор зберігає контроль через наявну SCADA.

Апаратний склад шафи регулювання витрати наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Апаратний склад шафи регулювання витрати

Вузол	Прийняте рішення	Призначення	Обґрунтування
Шафа ШРВ	Металева промислова шафа з автоматичними вимикачами, клемми, джерелами 24 В DC, резервуванням живлення для контролера і мережевого обладнання	Розміщення контролера, модулів вводу-виводу, комутації, живлення та мережевого обладнання	Повторює практику існуючих шаф автоматизації, де застосовано промислові шафи, клемні рішення, захисти живлення та джерела 24 В [20; 21].
Контролер	Siemens S7-1500 або ET 200SP CPU	Виконання алгоритмів регулювання, блокувань, діагностики і формування обміну з верхнім рівнем	Підтримує Siemens-орієнтовану структуру, обрану в розділі 2, і дає змогу реалізувати локальні захисти незалежно від SCADA.
Модулі вводу-виводу	ET 200SP AI/AO/DI/DO з резервом каналів	Приймання сигналів тиску, витрати, положення, станів приводів і формування команд на локальний частотно-керований вузол за наявності та затвори	Модульна периферія спрощує нарощування сигналів і розміщення у локальній шафі.

Продовження таблиці 3.2

Вузол	Прийняте рішення	Призначення	Обґрунтування
Частотний перетворювач	Siemens SINAMICS G120X або G120P для окремого локального підвищувального вузла	Компенсація дефіциту напору у межах окремого погодженого вузла, якщо він буде встановлений	Чинні насоси не мають зв'язку з АСУТП і працюють від контакторних схем, тому базове регулювання ШРВ не повинно залежати від керування ними.
Регульвальна арматура	Поворотні регульвальні затвори DN600 PN16 у напірних колекторах або зональних гілках	Перерозподіл витрати води між рядами шахти	Компактне рішення з меншим опором у відкритому положенні; DN600 PN16 прийнято за отриманими вихідними даними.
Електроприводи затворів	AUMA SQRV .2 з ACV 01.2 або аналогічний модулюючий привод	Позиційне керування затвором, зворотний зв'язок положення, діагностика і аварійна поведінка	Модулюючий режим потрібен для плавного регулювання витрати, а не тільки для відкриття/закриття.
Вимірювання витрати і тиску	SITRANS FM MAG 5100 W або KROHNE OPTIFLUX для витрати; SITRANS P320/P420 або аналог 4-20 мА/HART для тиску	Надання фактичних значень для регуляторів, захистів, SCADA і трендів	Витрата і тиск є ключовими параметрами, без яких регулювання може погіршити охолодження.

3.3 Перелік сигналів запропонованої системи

Перелік сигналів сформовано як проектний для одного вузла регулювання. Він спирається на типову структуру наявних аналогових і дискретних переліків системи охолодження, де вже передбачені температурні, витратні, дискретні та діагностичні сигнали [18; 19]. Остаточні позиційні позначення і адресація мають визначатися при розробці робочої документації.

Перелік сигналів запропонованої системи наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Перелік сигналів запропонованої системи

Група	Сигнал	Тип	Викор.	Дія при відмові
Тиск	Тиск у напірній лінії; тиск у критичній верхній зоні	AI 4-20 мА/HART	Основний параметр контуру тиску і захисту від небезпечного режиму	Перехід у ручний/резервний режим, блокування прикриття затворів
Витрата	Витрата води по рядах 1-4; за потреби сумарна витрата на подачі	AI 4-20 мА або цифровий обмін	Розподіл води між рядами, контроль мінімальної витрати, тренди	Заборона оптимізації відповідного контуру, аварія достовірності
Положення затворів	Фактичне положення регульовального затвора кожного ряду	AI 4-20 мА або цифровий параметр приводу	Зворотний зв'язок для регулятора і діагностики застрягання	Блокування автоматичного режиму відповідного затвора
Температура	Температура входу/виходу або показники, отримані з існуючої АСУТП	AI або дані від верхнього рівня	Оцінка теплового стану ряду, корекція завдань витрати, теплознімання	Регулювання переходить на витрату і тиск без температурної корекції
Команди	Завдання положення затвора; завдання локального частотно-керованого вузла тільки за його наявності	AO 4-20 мА або цифровий обмін	Виконавчий вплив контуру розподілу витрати і, за потреби, контуру підтримання тиску	Повернення до безпечного завдання, блокування прикриття або фіксація останнього дозволеного стану

Продовження таблиці 3.3

Група	Сигнал	Тип	Викор.	Дія при відмові
Дискретні стани	Готовність приводів, аварія приводів, стан локального частотного вузла за наявності, місцевий режим, кінцеві положення, живлення шафи	DI 24 В DC	Дозволи автоматичного режиму, аварійна сигналізація, діагностика	Заборона автоматичних команд і повідомлення оператору
Дискретні команди	Дозвіл роботи, скидання аварії, аварійне відкриття або перехід у безпечне положення	DO 24 В DC	Керування виконавчими механізмами і сервісними діями	Команди блокуються при відсутності дозволів або недостовірності сигналів
SCADA-обмін	Режим, уставки, аварії, попередження, трендові параметри, команди оператора	Промисловий Ethernet	Відображення стану системи і операторське керування в допустимих межах	Локальний контролер продовжує захисні функції без верхнього рівня

3.4 Програмна частина ПЛК

Програмна частина ШРВ повинна виконуватися циклічно в контролері Siemens. Її структура повторює логіку наявної системи: збір сигналів, масштабування, фільтрація, діагностика, розрахункові параметри, аварійні повідомлення і передача даних на верхній рівень. У наявному алгоритмічному забезпеченні вже описані підходи до обробки аналогових і дискретних сигналів, фільтрації та розрахунку теплоснімання. У запропонованій модернізації ці принципи доповнюються контурами автоматичного регулювання.

Програму доцільно поділити на функціональні блоки. Такий підхід спрощує налагодження і дає змогу окремо перевіряти обробку сигналів,

регулятори, захисти, обмін зі SCADA та ручні режими. Блоки подано як проектну структуру, а не як готовий завантажений код підприємства.

Функціональні блоки програми ПЛК наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Функціональні блоки програми ПЛК

Блок ПЛК	Вхідні дані	Основні дії	Результат
Обробка аналогових сигналів	4-20 мА/HART від датчиків тиску, витрати, положення	Масштабування, фільтрація, перевірка меж, виявлення обриву або недостовірною значення	Нормалізовані параметри для регуляторів і SCADA
Обробка дискретних сигналів	Готовність, аварія, місцевий режим, стан живлення, кінцеві положення	Формування дозволів автоматичного режиму, діагностика відмов, передача станів оператору	Дозволи, блокування, аварійні ознаки
Контур тиску	Тиск подачі, тиск верхньої зони, сумарна витрата, стан дозволів і локального частотного вузла за наявності	Контроль запасу тиску, формування дозволу на регулювання; за наявності локального насосного вузла - обмежене PI/PID-завдання	Дозвіл автоматичного режиму, блокування прикриття затворів або завдання локальному частотному перетворювачу
Розподіл витрати	Витрати по рядах, температури або теплотнімання, положення затворів	Формування завдань положення затворів з обмеженням швидкості зміни і мінімального відкриття	Команди модулюючим приводам
Захисти	Пороги тиску, мінімальні витрати, достовірність датчиків, готовність приводів	Блокування прикриття затворів, аварійне відкриття або утримання положення, фіксація аварії	Безпечний стан і повідомлення SCADA

Продовження таблиці 3.4

Блок ПЛК	Вхідні дані	Основні дії	Результат
SCADA-обмін	Параметри, режими, аварії, уставки, команди оператора	Передача трендів і аварій, приймання дозволених уставок, контроль прав доступу	Єдиний операторський інтерфейс модернізованої системи

3.5 Операторський інтерфейс і SCADA

Оскільки існуюча FactoryTalk View SE вже використовується для відображення температур, витрат, трендів, теплоснімання та аварій системи охолодження, верхній рівень модернізації доцільно виконати шляхом додавання нових екранів і тегів до чинного операторського середовища. На екранах окремо показується, що насосна станція є зовнішнім вузлом без прямого керування з ШРВ, а всі автоматичні дії регулювання обмежені станом тиску і витрати.

SCADA не повинна виконувати критичні захисні дії замість локального контролера. Її функція - відображати стан, архівувати параметри, задавати дозволени уставки, приймати підтвердження оператора і формувати аварійні повідомлення. Локальні блокування за тиском, витратою та відмовами обладнання мають залишатися в ШРВ.

Склад операторського інтерфейсу наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Склад операторського інтерфейсу

Екран / група тегів	Вміст	Призначення
Огляд регулювання охолодження шахти	Тиск подачі, тиск верхньої зони, сумарна витрата, стан зовнішньої насосної станції за інформацією оператора, режим ШРВ, загальна аварія	Швидка оцінка безпечності водного режиму
Ряди 1-4 шахти	Витрата ряду, температура або теплоснімання, положення затвора, завдання положення, стан приводу	Контроль розподілу води між рядами
Локальний частотно-керований вузол	Частота, струм, готовність, аварія, режим місцевий/дистанційний, дозвіл роботи - тільки якщо такий вузол встановлено	Контроль додаткового обладнання без залежності базового захисту від існуючих насосів

Продовження таблиці 3.5

Екран / група тегів	Вміст	Призначення
Аварії і попередження	Низький тиск, низька витрата, недостовірний датчик, відмова приводу, втрата зв'язку, ручний режим	Оперативне реагування і архівування подій
Уставки і сервіс	Заданий тиск, мінімальна витрата, мінімальне відкриття затворів, межі аварій, витримки часу	Налагодження з обмеженням доступу та протоколюванням змін

3.6 Підключення одного контуру регулювання

Для опису електричної реалізації розглянуто типовий контур регулювання витрати одного ряду шахти. У пояснювальній записці наведено склад електричних ланцюгів, функціональне призначення сигналів і взаємодію датчиків, модулів вводу-виводу, електропривода та SCADA.

Контур складається з витратоміра, перетворювача тиску або спільного датчика тиску для групи контурів, регулювального затвора з модулюючим електроприводом, ланцюгів живлення, аналогових і дискретних сигналів, а також мережевого обміну з ШРВ. Для збереження безпеки виконавчий механізм повинен мати ручне дублювання і визначену аварійну поведінку при втраті живлення або зв'язку.

Склад типового контуру регулювання наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Склад типового контуру регулювання

Ланцюг	Елемент	Сигнал	Призначення
Вимірювання витрати	Електромагнітний витратомір ряду	4-20 мА або цифровий параметр	Фактична витрата для регулятора, трендів і захисту мінімальної витрати
Вимірювання тиску	Перетворювач тиску напірної лінії або критичної зони	4-20 мА/HART	Основний параметр захисту від небезпечного зниження тиску
Керування затвором	Модулюючий електропривід регулювального затвора	АО 4-20 мА або цифрове завдання	Задання положення затвора для перерозподілу витрати

Продовження таблиці 3.9

Перевірка	Ознака	Дія ПЛК	Повідомлення оператору
Надмірний перепад температур	$dT >$ граничного значення або від'ємний dT	перевірити суміжні канали, не виконувати різке прикриття затвора	попередження про аномальний перепад
Застрягання значення	сигнал не змінюється протягом заданого часу	зафіксувати відмову або потребу перевірки датчика	діагностика каналу
Конфлікт тиск/витрата/температура	температура зростає при малій витраті або зниженому тиску	пріоритет тиску і витрати, відкриття/утримання затвора	пріоритетна аварія охолодження

Такий блок діагностики є програмною частиною запропонованої системи і безпосередньо пов'язаний з фактичними даними. Він зменшує ризик того, що автоматичний режим буде реагувати на відмову датчика як на реальне теплове відхилення.

Окрім температурних аномалій, архіви містять ознаки проблем із витратами та перепадами температур. Для 1-го ряду зафіксовано 835 нульових або від'ємних значень витрати і 381 від'ємне значення ΔT ; для 4-го ряду - 7 таких значень витрати і 492 від'ємні ΔT ; для заплечиків - 769 від'ємних ΔT при відсутності нульових або від'ємних витрат. Тому програмний блок достовірності має перевіряти не тільки температуру тіла холодильника, а й знак, мінімум і фізичну узгодженість F_i та ΔT_i .

3.9 Висновки до розділу 3

У розділі 3 запропоновано реалізацію обраного у розділі 2 варіанта модернізації: окремого Siemens-вузла регулювання, який інтегрується з існуючою FactoryTalk/ControlLogix 1756-L82-системою і не замінює її повністю. Такий підхід дозволяє додати автоматичне регулювання витрати з урахуванням тиску, зберігши чинні функції моніторингу, архівування та сигналізації.

Апаратна частина включає ШПВ, контролер Siemens, модулі вводу-виводу, регульовальні затвори DN600 PN16 з модулюючими приводами, датчики тиску та витрати. Частотний перетворювач Siemens SINAMICS G120X/G120P розглянуто як обладнання для окремого локального підвищувального вузла або наступного етапу модернізації, оскільки чинні насоси працюють від контакторних схем і не мають зв'язку з АСУТП об'єкта.

Продовження таблиці 4.1

С	Склад робіт	Основний ефект	Ум
Р	Базовий склад плюс окремий локальний підвищувальний вузол із частотним перетворювачем Siemens SINAMICS G120X/G120P і власними захистами.	Додаткова підтримка тиску у локальному контурі та зниження ризику роботи верхньої частини шахти при недостатньому напорі.	Потребує характеристики Q-H, вибору насоса, місця врізки і погодження з цехом водопостачання.

4.2 Склад витрат на модернізацію

Капітальні витрати формуються з вартості обладнання, робіт з монтажу і налагодження, інтеграції з наявною SCADA, а також резерву на непередбачені роботи. Для базового сценарію витрати на насосний вузол не включаються, оскільки керування чинними насосами не входить до прийнятої структури ШРВ.

Загальні капітальні витрати визначаються за формулою:

$$K = K_{ACU} + K_{KBП} + K_{APM} + K_{ПЗ} + K_{BMP} + K_{ПНР} + K_{PEЗ} + K_{HAC},$$

де $K_{HAC} = 0$ для базового сценарію.

Структуру витрат наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Структура витрат

Стаття	Код	Склад витрат	С
Автоматизація ШРВ	K_ACU	контролер, модулі вводу-виводу, живлення, мережеве обладнання, шафа	Б/Р
КВП і А	K_KBП	датчики тиску, витратоміри, кабельна продукція, допоміжна шафна апаратура	Б/Р
Регульовальна арматура	K_APM	поворотні затвори DN600 PN16, модулюючі електроприводи, місцеві пости керування	Б/Р
Програмна інтеграція	K_ПЗ	логіка ПЛК, екрани SCADA, архіви, тренди, аварійні повідомлення	Б/Р
Будівельно-монтажні роботи	K_BMP	врізка арматури, кабельні траси, монтаж шаф, підключення сигналів	Б/Р

Продовження таблиці 4.2

Стаття	Код	Склад витрат	С
Пусконаладження	К_ПНР	перевірка сигналів, налаштування уставок, випробування автоматичного режиму	Б/Р
Резерв	К_РЕЗ	резерв на непередбачені роботи та уточнення обсягу після обстеження	Б/Р
Локальний насосний вузол	К_НАС	насос, частотний перетворювач, силова шафа, захисти і трубно обв'язка	Р

Для попередньої числової оцінки використано відкриті ринкові сторінки з обладнанням Siemens S7-1500, SINAMICS G120X та регулювальною арматурою DN600 PN16 з електроприводом. Значна частина промислових позицій подається з ціною за запитом, тому наведені значення мають клас укрупненої оцінки і не замінюють комерційні пропозиції. Для базового сценарію доцільно приймати попередній діапазон $K_{\text{баз}} = 4,2-11,4$ млн грн. Для розширеного сценарію з локальним підвищувальним вузлом орієнтовний діапазон становить $K_{\text{розш}} = 6,7-19,1$ млн грн.

Орієнтовну попередню оцінку капітальних витрат наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Орієнтовна попередня оцінка капітальних витрат

Позиція	п	Вартість	Пояснення	С
ШРВ, PLC, ET 200SP, живлення, клеми, мережеве обладнання	1 компл.	0,40-1,10 млн грн	відкриті позиції Siemens S7-1500/модулів; кінцева ціна через КП	Б
Датчики тиску, додаткові сигнали витрати, кабельна арматура КВП і А	1 компл.	0,30-1,20 млн грн	за класом промислових перетворювачів тиску і витратомірних каналів	Б
Регулювальні затвори DN600 PN16 з модулюючими електроприводами	4 компл.	1,80-4,80 млн грн	відкриті позиції DN600 PN16 з електроприводом AUMA/аналогом; ціна часто за запитом	Б

Продовження таблиці 4.3

Позиція	n	Вартість	Пояснення	С
Монтаж, врізка, кабельні траси, шафні підключення	1 компл.	0,90-2,80 млн грн	укрупнено 25-40 % від обладнання з поправкою на трубопроводи DN600	Б
Програмування PLC/SCADA, архіви, тренди, випробування, ПНР	1 компл.	0,40-1,00 млн грн	за обсягом робіт: PLC, FactoryTalk-інтеграція, перевірка аварій	Б
Резерв на уточнення після обстеження	10-15 %	0,40-1,50 млн грн	попередній клас оцінки без робочого кошторису	Б
Додатковий локальний підвищувальний вузол із SINAMICS G120X/G120P	1 вузол	+2,50-7,70 млн грн	насос, ПЧ, силова шафа, обв'язка, монтаж і ПНР	Р

Отриманий діапазон застосовується тільки для порогового розрахунку окупності. Перед захистом або практичним впровадженням його потрібно замінити кошторисом за комерційними пропозиціями, фактичним обсягом монтажу, місцями врізки і прийнятим складом датчиків.

4.3 Джерела очікуваного економічного ефекту

Основний ефект не слід пов'язувати з прямою економією електроенергії чинних насосів, оскільки вони не керуються запропонованою системою. Базовий ефект формується через зниження технологічного ризику: швидше виявлення небезпечних відхилень, блокування некоректного прикриття затворів при малому тиску, зменшення ймовірності перегріву холодильних плит і скорочення ручних втручань оператора. Економія води може враховуватися лише в тій частині, де зменшення надлишкової витрати не погіршує тиск у критичних зонах.

Річний валовий ефект подається як сума складових:

$$E_{\text{вал}} = E_{\text{прост}} + E_{\text{рем}} + E_{\text{вод}} + E_{\text{опер}} + E_{\text{ен.}}$$

Чистий річний ефект:

$$E_{\text{ч}} = E_{\text{вал}} - C_{\text{експл.}}$$

де $C_{\text{експл}}$ - річні витрати на обслуговування, перевірку датчиків, перевірку приводів і супровід програмної частини.

Складові річного економічного ефекту наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Складові річного економічного ефекту

Склад.	Розрахунок	Зміст	С
Запобігання простоям	$E_{\text{прост}} = (N_0 \cdot t_0 - N_1 \cdot t_1) \cdot C_{\text{год}}$	зменшення втрат від аварійного або обмеженого режиму охолодження	Б/Р
Ремонтні витрати	$E_{\text{рем}} = C_{\text{рем}0} - C_{\text{рем}1}$	менша ймовірність пошкодження холодильників, арматури або трубних елементів	Б/Р
Технічна вода	$E_{\text{вод}} = \Delta Q \cdot C_{\text{вод}} \cdot H$	скорочення надлишкової витрати тільки за умови збереження мінімального тиску	Б/Р
Операторські дії	$E_{\text{опер}} = \Delta T_{\text{руч}} \cdot C_{\text{перс}}$	зменшення ручних перемикачів, пошуку несправностей і часу реакції на аварії	Б/Р
Електроенергія	$E_{\text{ен}} = \Delta P_{\text{ел}} \cdot C_{\text{ел}} \cdot H$	ефект від частотного керування окремим насосним вузлом	Р

4.4 Показники ефективності

Основним показником для порівняння сценаріїв є простий строк окупності: $T_{\text{ок}} = K / E_{\text{ч}}$. Якщо $E_{\text{ч}} \leq 0$, сценарій не має економічного обґрунтування за прийнятою методикою. Для інвестиційного порівняння декількох варіантів можна додатково застосувати чистий дисконтований дохід:

$$NPV = -K + \sum (E_{\text{ч},t} / (1 + r)^t),$$

де r - ставка дисконтування, t - рік розрахункового періоду.

За відсутності затверджених вартісних даних корисним є пороговий розрахунок. Мінімальна кількість годин простою, яку має запобігати модернізація для окупності за один рік, визначається як $t_{\text{кр}} = (K + C_{\text{експл}}) / C_{\text{год}}$. Якщо очікуване скорочення аварійного або обмеженого режиму перевищує $t_{\text{кр}}$, рішення має економічний резерв навіть без урахування ремонтного ефекту та можливої економії води.

Джерела вихідних даних для фінального розрахунку наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Джерела вихідних даних для фінального розрахунку

Дані	Код	Джерело	Викор.
Вартість обладнання ШРВ, КВП і А, затворів і приводів	K_ACY, K_KBP, K_APM	комерційні пропозиції або внутрішні кошториси	розрахунок K
Вартість монтажу, кабельних трас і пусконаладження	K_BMP, K_PNP	виробнича оцінка ремонтної або підрядної організації	розрахунок K
Вартість години простою або обмеження продуктивності	C_год	планово-економічний підрозділ підприємства	розрахунок E_прост і T_кр
Середня частота і тривалість небезпечних відхилень	N, t	журнали аварій, тренди SCADA, ремонтна статистика	розрахунок E_прост
Витрати на ремонт холодильників і трубних елементів	C_рем	ремонтна служба, акти дефектації	розрахунок E_рем
Внутрішня вартість технічної води та електроенергії	C_вод, C_ел	енергетична служба або внутрішні нормативи	розрахунок E_вод і E_ен

4.5 Висновки до розділу 4

Економічна доцільність модернізації визначається не тільки можливою економією води або електроенергії, а насамперед зменшенням ризику аварійного режиму охолодження. Для ДП це важливо через уже обмежений запас тиску і нерівномірне теплове навантаження зон, підтверджене розрахунком за виробничим архівом. Базовий сценарій є пріоритетним для першого етапу, оскільки додає автоматичне регулювання і діагностику без втручання в чинну насосну станцію.

Розширений сценарій із локальним частотно-керованим насосним вузлом може розглядатися після додаткового гідравлічного розрахунку та погодження з цехом водопостачання. Остаточне числове значення строку окупності отримується підстановкою комерційних пропозицій, внутрішньої вартості простою, ремонтних витрат і тарифів підприємства у наведені формули.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розділ розглядає вимоги охорони праці для робіт, пов'язаних із модернізацією системи охолодження холодильних плит ДП: встановленням регулювальної арматури, підключенням датчиків і приводів, налагодженням шафи керування та експлуатацією SCADA-інтерфейсу. За характером робіт система належить до промислового об'єкта підвищеної небезпеки, тому технічне рішення має враховувати не лише функціональність керування, а й безпечну організацію монтажу, випробувань і подальшого обслуговування.

5.1 Характеристика небезпечних і шкідливих факторів

Роботи виконуються в умовах доменного цеху, де поєднуються технологічні, електричні, гідравлічні та організаційні ризики. Нормативною основою є загальні вимоги законодавства з охорони праці, правила безпечної роботи в електроустановках, правила для обладнання під тиском, правила пожежної безпеки та вимоги до робочих місць з екранними пристроями [26; 27; 28; 29; 30]. Внутрішні інструкції підприємства деталізують ці вимоги для персоналу доменного виробництва і працівників АСУТП [31; 32; 33; 34; 35].

Небезпечні фактори та заходи захисту наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Небезпечні фактори та заходи захисту

Фактор	Можливий прояв	Заходи захисту
Висока температура, пил, шум і газонебезпечні фактори доменного цеху	перегрів, ураження органів дихання, погіршення видимості, помилкові дії персоналу	допуск тільки після інструктажу, рух визначеними маршрутами, каска, окуляри, спецвзуття, засоби захисту слуху та дихання за вимогами дільниці
Технічна вода у трубопроводах DN600 PN16	травмування струменем або раптовим виходом води, підтоплення робочої зони	роботи на трубопроводі тільки після відключення, скидання тиску, дренавання та підтвердження нульового тиску; пробний пуск під контролем відповідальних осіб
Електрообладнання шаф ШРВ, приводів затворів, КВП і А і мережевого обладнання	ураження електричним струмом, дуговий розряд, пошкодження обладнання	зняття напруги, блокування повторного вмикання, перевірка відсутності напруги, робота персоналу з потрібною групою з електробезпеки

Продовження таблиці 5.1

Фактор	Можливий прояв	Заходи захисту
Рухомі частини електроприводів і поворотних затворів	затискання, неконтрольована зміна положення арматури	місцеве блокування приводу, попередження персоналу перед випробуванням, обмеження швидкості зміни положення, перевірка ручного керування
Кабельні траси, тимчасові підключення, роботи біля діючого обладнання	спотикання, механічне пошкодження кабелю, коротке замикання	закріплення кабелів, розділення силових і сигнальних ліній, захист проходів, перевірка маркування і цілісності ізоляції
Операторські робочі місця з SCADA-екранами	зорове напруження, нервово-емоційне навантаження, помилкова реакція на аварію	ергономічне розміщення екранів, стабільна індикація, регламентовані перерви, однозначні аварійні повідомлення і пріоритети сигналізації

5.2 Організаційні заходи безпеки

Перед початком робіт персонал повинен пройти вступний і цільовий інструктаж, ознайомитися з маршрутом пересування, межами робочої зони, місцями евакуації, порядком зв'язку з диспетчером і відповідальними особами доменного цеху. Роботи, що впливають на гідравлічний режим охолодження, не допускається виконувати без погодження з технологічним персоналом, оскільки помилкове прикриття або відкриття арматури може змінити витрату води через критичні зони шахти.

Для монтажу і налагодження встановлюються межі відповідальності між службою АСУТП, електротехнічним персоналом, ремонтною службою, доменним цехом і цехом водопостачання. Усі тимчасові режими повинні бути відображені в журналі робіт. Автоматичний режим регулювання після модернізації вводиться поетапно: спочатку перевіряються сигнали та аварії, потім ручне керування приводами, і лише після цього дозволяється обмежена автоматична корекція.

5.3 Безпека монтажу, електромонтажу та налагодження

Регульовальні затвори DN600 PN16, трубні врізки та датчики тиску/витрати пов'язані з обладнанням, що працює під надлишковим тиском. Тому монтажні операції виконуються тільки після виведення ділянки з роботи, скидання тиску, дренажування, перевірки відсутності залишкового тиску і встановлення механічних або організаційних блокувань від помилкового пуску. Пробне заповнення трубопроводу

проводиться поступово, з контролем протікань, положення затворів і показів датчиків.

Електромонтажні роботи у шафах керування, колах приводів, перетворювачів, датчиків і мережевого обладнання виконуються за вимогами безпечної експлуатації електроустановок споживачів. До робіт допускається персонал з відповідною групою з електробезпеки. Перед роботою необхідно відключити живлення, унеможливити повторне вмикання, перевірити відсутність напруги, застосувати справний інструмент і засоби індивідуального захисту. Вимірювання в діючих колах допускаються лише у дозволених режимах і під контролем відповідальної особи.


Контроль безпеки за етапами впровадження наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Контроль безпеки за етапами впровадження

Етап	Вимога безпеки	Контроль виконання
Проектування	закласти пріоритет захисту за тиском, аварійне відкриття або блокування прикриття затворів, ручний режим і журналювання дій	перевірка функціональної схеми, таблиці сигналів, алгоритму блокувань і списку аварій
Монтаж	виконувати врізку і встановлення затворів після виведення ділянки з роботи та погодження з доменним цехом і службою водопостачання	наряд або розпорядження, контроль відсутності тиску, огороження місця робіт
Електромонтаж	не виконувати роботи в шафах під напругою, крім дозволених вимірювань під контролем відповідального персоналу	перевірка групи з електробезпеки, протокол перевірки ізоляції, маркування кіл
Налагодження	спочатку перевіряти сигнали, імітацію аварій і блокування, потім переходити до пробних переміщень затворів з обмеженням ходу	акт випробування, журнал параметрів, підтвердження роботи захистів
Експлуатація	не дозволяти автоматичному режиму зменшувати витрату за відсутності запасу тиску або при недостовірних сигналах	тренди SCADA, аварійний журнал, періодична перевірка датчиків і приводів

5.4 Пожежна безпека, санітарні вимоги та робота оператора

Пожежна безпека забезпечується правильним вибором кабелів, захистом від перевантаження і короткого замикання, збереженням



протипожежних проходок, відсутністю горючих матеріалів біля шаф керування та наявністю первинних засобів пожежогасіння. Роботи з відкритим полум'ям або нагріванням у зоні трубопроводів і кабельних трас виконуються тільки за встановленим на підприємстві порядком і за наявності відповідального за пожежну безпеку.

Операторська частина модернізації пов'язана з роботою з екранними пристроями FactoryTalk View SE. Робоче місце оператора має забезпечувати чіткість символів, стабільність зображення, достатній контраст, прийнятне освітлення і мікроклімат. Аварійні повідомлення повинні мати пріоритетність, зрозумілі назви параметрів і не перевантажувати оператора повторюваними сигналами. Зміна уставок, відключення аварій або перехід у ручний режим допускаються лише персоналом, якому надано відповідні права доступу.

Виробнича санітарія для робіт у доменному цеху включає використання спецодягу та взуття, захисту очей, слуху і органів дихання за умовами дільниці, дотримання питного режиму, заборону перебування в небезпечних зонах без супроводу та негайне повідомлення про запах газу, задимлення, пошкодження кабелю, витік води або перегрів обладнання.

5.5 Висновки до розділу 5

Модернізація системи охолодження повинна впроваджуватися як технічне рішення з пріоритетом безпеки. Основними ризиками є робота поруч із діючим доменним агрегатом, водяні трубопроводи під тиском, електрообладнання шаф керування, рухомі частини приводів, пожежні ризики кабельного господарства та навантаження на оператора SCADA. Прийнята структура керування з контролем мінімального тиску, блокуванням некоректного прикриття затворів, діагностикою сигналів і пріоритетною аварійною сигналізацією зменшує ймовірність небезпечних дій персоналу і не допускає автоматичного режиму, який може погіршити охолодження шахти.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі досліджено систему охолодження холодильних плит шахти доменної печі як об'єкт автоматизації. Проаналізовано технологічну роль водяного охолодження, наявні конструктивні та гідравлічні обмеження, а також недоліки інформаційно-контрольної системи, які не дають змоги автоматично керувати витратою води з урахуванням запасу тиску.

За результатами аналізу предметної області визначено, що основними обмеженнями є робота на проточній технічній воді, застосування чавунних елементів у зоні високого теплового навантаження, знижений тиск у верхній охолоджуваній частині шахти та відсутність замкнутого регулювання витрати по охолоджуваних зонах. Ці умови обґрунтовують модернізацію, у якій регулювання витрати підпорядковується контролю мінімального тиску і мінімальної витрати.

У другому розділі сформульовано задачу автоматизації, вимоги до системи, порівняно варіанти реалізації та обґрунтовано вибір локального вузла регулювання витрати.

У третьому розділі розроблено апаратну та програмну частини системи: структуру шафи регулювання витрати, перелік аналогових і дискретних сигналів, принцип підключення типового контуру, алгоритм автоматичного режиму, операторський інтерфейс і програмну перевірку достовірності сигналів. Розрахунок за виробничими архівами показав нерівномірність теплового навантаження між зонами та підтвердив необхідність пріоритетного захисту від додаткового зниження тиску.

У четвертому розділі наведено економічне обґрунтування, укрупнений кошторис і оцінку окупності. У п'ятому розділі визначено небезпечні фактори та заходи охорони праці під час впровадження й експлуатації системи.

У п'ятому розділі визначено вимоги охорони праці для монтажу, налагодження та експлуатації системи. Основними ризиками є робота поблизу діючого доменного агрегату, водяні трубопроводи під тиском, електрообладнання шаф керування, рухомі частини приводів, пожежна небезпека кабельного господарства та навантаження на оператора. Прийнята структура керування з контролем мінімального тиску, блокуванням небезпечного прикриття затворів, діагностикою сигналів і пріоритетною сигналізацією підвищує керованість водного режиму та зменшує ризик погіршення охолодження.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Blast Furnace Cooling Systems : brochure / Paul Wurth, SMS group. URL: <https://www.paulwurth.com/wp-content/uploads/2020/08/Brochure-Blast-Furnace-Cooling-Systems-en.pdf> (дата звернення: 04.05.2026).
2. The Next-Generation Copper Staves : technical article / Primetals Technologies. URL: <https://www.primetals.com/en/metals-magazine/the-next-generation-copper-staves/> (дата звернення: 05.05.2026).
3. Blast Furnace Design : technology description / Danieli Corus. URL: <https://www.danieli-corus.com/technologies/ironmaking/blast-furnace-design/> (дата звернення: 06.05.2026).
4. Detecting the leakage of coolant in a blast furnace : application note / KROHNE. URL: <https://www.krohne.com/en-us/applications/detecting-leakage-coolant-blast-furnace> (дата звернення: 07.05.2026).
5. Flow Measurement for Blast Furnace Cooling : industry application / Emerson. URL: <https://www.emerson.com/en/measurement-instrumentation/industries/mining-and-metals/flow-measurement-for-blast-furnace-cooling> (дата звернення: 08.05.2026).
6. Berlinski M., Grzybowska A. Development of an Intelligent Cooling Stave as Part of the Cooling System of a Blast Furnace. Proceedings. 2024. Vol. 108, No. 1. Article 13. DOI: <https://doi.org/10.3390/proceedings2024108013>. URL: <https://www.mdpi.com/2504-3900/108/1/13> (дата звернення: 11.05.2026).
7. Zhang S. et al. Cooling and Monitoring Systems of Blast Furnace Hearth. ISIJ International. 2012. Vol. 52, No. 10. P. 1713-1723. URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/isijinternational/52/10/52_1713/_pdf (дата звернення: 12.05.2026).
8. Reference List Industry 2010/2025 : catalogue / AUMA Iberia. URL: <https://aumaiberia.com/wp-content/uploads/2026/01/Referencias-INDUSTRIA-2026.pdf> (дата звернення: 15.05.2026).
9. SINAMICS G120 frequency converter : product information / Siemens. URL: <https://www.siemens.com/en-gb/products/sinamics/g120/> (дата звернення: 18.05.2026).
10. SIMATIC ET 200SP compact modular I/O system : product information / Siemens. URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/io-systems/et-200sp.html> (дата звернення: 18.05.2026).
11. SQRV part-turn actuators for modulating duty : product information / AUMA. URL: https://www.auma.com/en_IN/product/actuators/part-turn-actuators/sqrv-p35491 (дата звернення: 19.05.2026).
12. AC actuator controls : product information / AUMA. URL: https://www.auma.com/en_001/products/ac-p35462 (дата звернення: 19.05.2026).

13. Butterfly valve - high resistance at low weight : product type description / KSB. URL: <https://www.ksb.com/en-de/product-types/butterfly-valve> (дата звернення: 20.05.2026).

14. ACQ580 drives for water and wastewater applications : product information / ABB. URL: <https://www.abb.com/global/en/areas/motion/drives/low-voltage-ac-drives/water-wastewater-drives/acq580> (дата звернення: 21.05.2026).

15. Altivar soft starters and variable speed drives for industry : product information / Schneider Electric. URL: <https://www.se.com/us/en/work/products/master-ranges/altivar/> (дата звернення: 21.05.2026).

16. SITRANS FM MAG 5100 W water magmeter sensor : product information / Siemens. URL: <https://www.siemens.com/de-ch/products/sitrans/f-m-mag-5100-w/> (дата звернення: 22.05.2026).

17. SITRANS P320/P420 digital pressure transmitters : product information / Siemens. URL: <https://www.siemens.com/us/en/products/automation/process-instrumentation/pressure-measurement/sitrans-p320-420.html> (дата звернення: 22.05.2026).

18. Перелік аналогових сигналів системи охолодження ДП : внутрішній матеріал металургійного комбінату. 2026.

19. Перелік дискретних сигналів системи охолодження ДП : внутрішній матеріал металургійного комбінату. 2026.

20. Шафа віддаленого вводу системи охолодження ДП : внутрішній технічний матеріал металургійного комбінату. 2026.

21. Шафа контролера системи охолодження ДП : внутрішній технічний матеріал металургійного комбінату. 2026.


22. Архів трендів параметрів ДП за січень 2026 року: тиск, витрата і температура води на піч, перепади температур та температури тіла холодильників : виробничі дані підприємства. 2026.

23. Відкриті ринкові пропозиції за запитом Siemens S7-1500 CPU : веб-сайт / Prom.ua. URL: https://prom.ua/ua/search?search_term=Siemens%20S7-1500%20CPU (дата звернення: 03.06.2026).

24. Відкриті ринкові пропозиції за запитом Siemens SINAMICS G120X : веб-сайт / Prom.ua. URL: https://prom.ua/ua/search?search_term=Siemens%20SINAMICS%20G120X (дата звернення: 03.06.2026).

25. Відкриті ринкові пропозиції за запитом затвор DN600 PN16 : веб-сайт / Prom.ua. URL: https://prom.ua/ua/search?search_term=%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%20DN600%20PN16 (дата звернення: 04.06.2026).

26. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 10.06.2026).



27. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Держнаглядохоронпраці України від 09.01.1998 р. № 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98> (дата звернення: 10.06.2026).

28. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском : наказ Міністерства соціальної політики України від 05.03.2018 р. № 333. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-18> (дата звернення: 11.06.2026).

29. Правила пожежної безпеки в Україні : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 р. № 1417. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15> (дата звернення: 11.06.2026).

30. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями : наказ Міністерства соціальної політики України від 14.02.2018 р. № 207. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18> (дата звернення: 12.06.2026).

31. Інструкція з загальних вимог безпеки для всіх працівників підприємства : внутрішній документ металургійного комбінату. 2025.

32. Інструкція про заходи з пожежної безпеки металургійного комбінату : внутрішній документ металургійного комбінату. 2022.

33. Інструкція з охорони праці для працівників електротехнічного та електротехнологічного персоналу підприємства : внутрішній документ металургійного комбінату. 2022.

34. Інструкція з охорони праці для працівників під час роботи з екранними пристроями : внутрішній документ металургійного комбінату. 2022.

35. Інструкція з виробничої санітарії для працівників підприємства: внутрішній документ металургійного комбінату. 2022.

ДОДАТОК А

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ДОМЕННИХ ПЕЧЕЙ

Додаток містить стислий огляд типових рішень. Таблиця використовується як допоміжний матеріал для обґрунтування, а основний текст розділу 1 містить власний узагальнений аналіз.

Порівняльний аналіз існуючих систем охолодження доменних печей наведено в таблиці А.1.

Таблиця А.1 – Порівняльний аналіз існуючих систем охолодження доменних печей

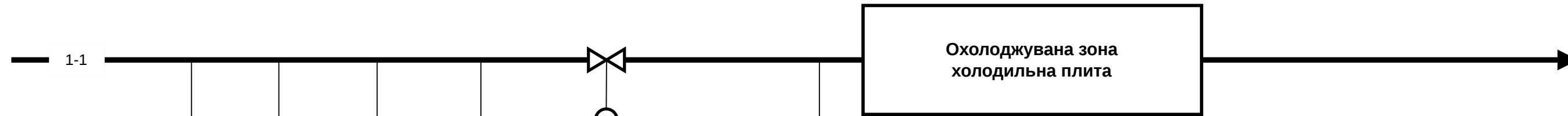
Тип рішення	Суть	Переваги	Недоліки / ризики	Зв'язок із чинною системою і прийнятим рішенням
Зовнішнє зрошення або охолодження кожуха	Вода подається на зовнішню поверхню кожуха або окремі ділянки.	Проста реалізація, можливість аварійного або тимчасового посилення охолодження.	Нерівномірне охолодження, теплові напруження кожуха, залежність від ручного контролю.	Може бути лише допоміжним заходом, не вирішує керування витратою в контурах плит.
Холодильні плити / коробки з проточною технічною водою	Окремі плити або коробки відводять тепло водою, часто з відкритим або напіввідкритим зливом.	Придатні для модернізації існуючих печей, не потребують повної перебудови корпусу.	Проточна вода має ризики забруднення, корозії, коливань тиску; складно підтримувати рівномірність по висоті печі.	Поточний недолік: вода не є підготовленим замкнутим контуром, а витрата залежить від загального гідравлічного режиму.

Продовження таблиці А.1

Тип рішення	Суть	Переваги	Недоліки / ризики	Зв'язок із чинною системою і прийнятим рішенням
Чавунні холодильні елементи з внутрішніми трубками	Чавунне тіло холодильника відводить тепло до вбудованих трубок/каналів з водою.	Історично поширене рішення, достатня механічна міцність для багатьох зон.	Нижча теплопровідність, ризик зазорів між трубкою і тілом, тріщини та руйнування при високих змінних теплових навантаженнях.	Поточний недолік порівняно з мідними рішеннями; SCADA-моніторинг сам по собі його не усуває.
Мідні плити та мідні стави	Високотеплопровідні елементи швидко відводять тепло і сприяють формуванню захисного гарнісажу.	Висока теплова ефективність, придатність для зон великого теплового навантаження, потенційне збільшення кампанійної стійкості.	Вища вартість, ризики зносу, вигину або пошкодження з'єднань при неправильній конструкції чи режимі.	Є сучасним орієнтиром, але у прийнятому рішенні акцент зроблено на керуванні водним режимом існуючої системи.
Замкнутий контур з хімічно очищеною водою	Окрема насосна станція, оборотна підготовлена вода, резервування насосів, теплообмін або сухе охолодження.	Стабільна якість води, менша корозія і забивання, нижча витрата води, краща діагностика витоків і керованість витрат.	Високі капітальні витрати, потреба у новій насосній станції, теплообмінному обладнанні та водопідготовці.	Можливий шлях покращення; для першого етапу доцільніша менш капіталомістка модернізація керування.

Продовження таблиці А.1

Тип рішення	Суть	Переваги	Недоліки / ризики	Зв'язок із чинною системою і прийнятим рішенням
Інтелектуальний моніторинг і автоматичне регулювання	Витратоміри, температури, тиски, розрахунок теплоснімання, виявлення витоків, алгоритми підтримання витрати/тиску.	Раннє виявлення відхилень, пріоритезація аварій, можливість поетапної модернізації без повної заміни печі.	Потребує якісних датчиків, верифікації сигналів, узгоджених уставок і захистів від некоректного зниження тиску.	Основа прийнятого рішення: регулювання витрати з контролем температур, витрати, тиску і захистом від зниження напору.



0...385 м³/год

0...385 м³/год

1,5...7 атм

10...40 °C

0...100 %

10...40 °C

Прилади на місці	FE 1-1	FT 1-2	PT 1-3	TT 1-4	FV 1-5	TE 1-6
Пульт керування	FIA 1-2 H L	PIA 1-3 H L	TIA 1-4 H L	FY 1-7	TIA 1-6	
PLC (S7-1500, ET 200SP AI/AO/DI/DO)	AI	AI	AI	AO/DO	AI	Profinet
АРМ (SCADA)	FQI APM	PI APM	TI APM	HS APM	TI APM	PAHL APM, ALM APM
Функції, параметри	Витрата води у контурі Вимірювання і підсумовування	Тиск перед регулювальним органом Захист за Pmin	Температура прямої води Корекція завдання	Положення регулювального затвора Регулювання витрати	Температура зворотної води Контроль теплоснімання	SCADA, архів, сигналізація Тренди, повідомлення

Примітка: охолодження інших плит зроблено аналогічно

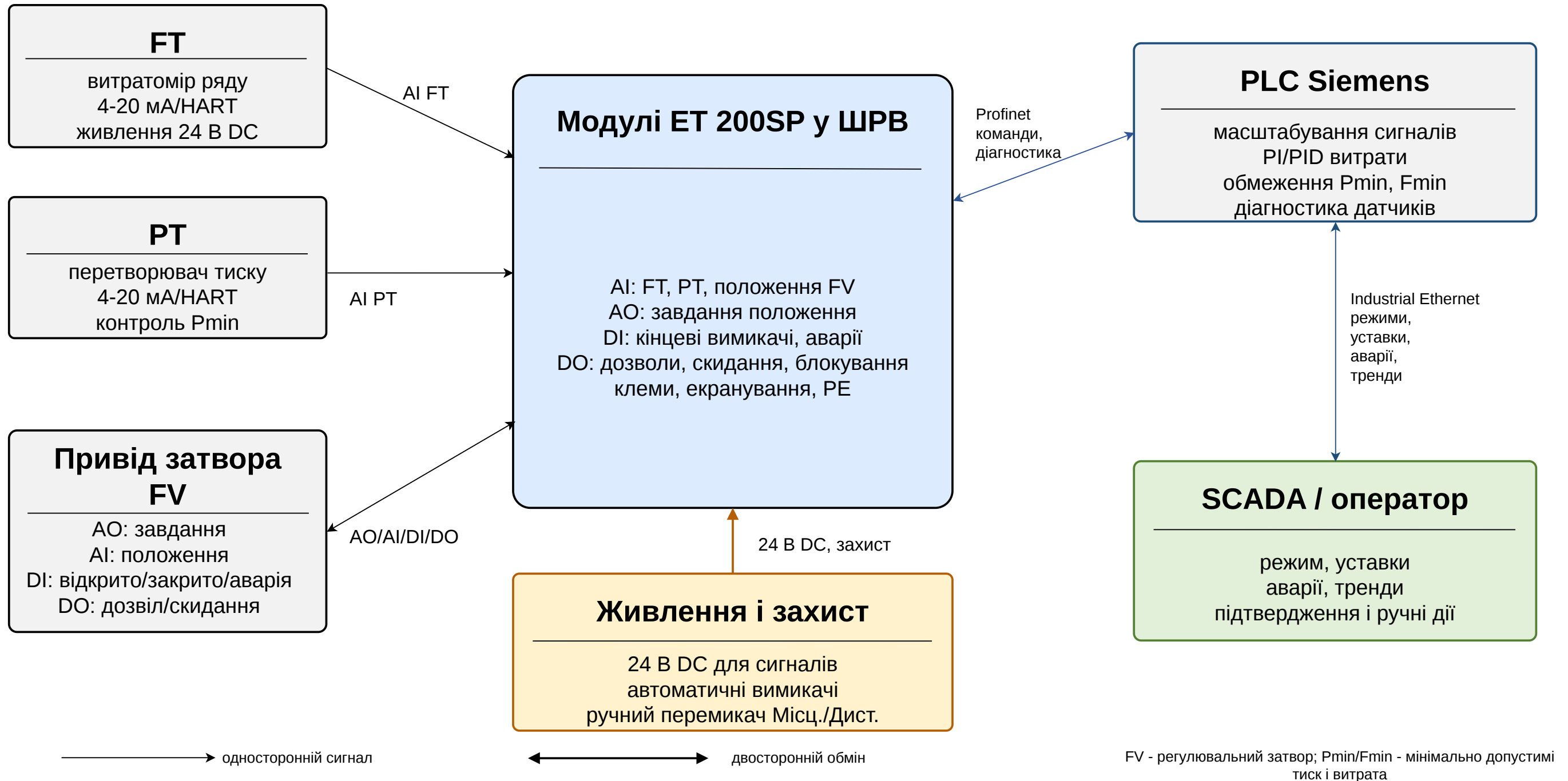
						АВЕРС.1н11а.КРБ14209426.АТХ-4В					
						Доменний цех					
Зм.	Кіл.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата				Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив	Ситник О.С.					Ділянка водяного охолодження доменної печі			Н	2	3
Перевірив	Койфман О.О.					ФСА типового контуру регулювання витрати			ТОВ "ТУ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА" ФАВІТ, АВЕРС АВ-22-16, 2026		
Т. контр.											
Н. контр.											
Затвердив											

Принцип підключення одного контуру регулювання

Склад сигналів типового контуру витрати одного ряду шахти

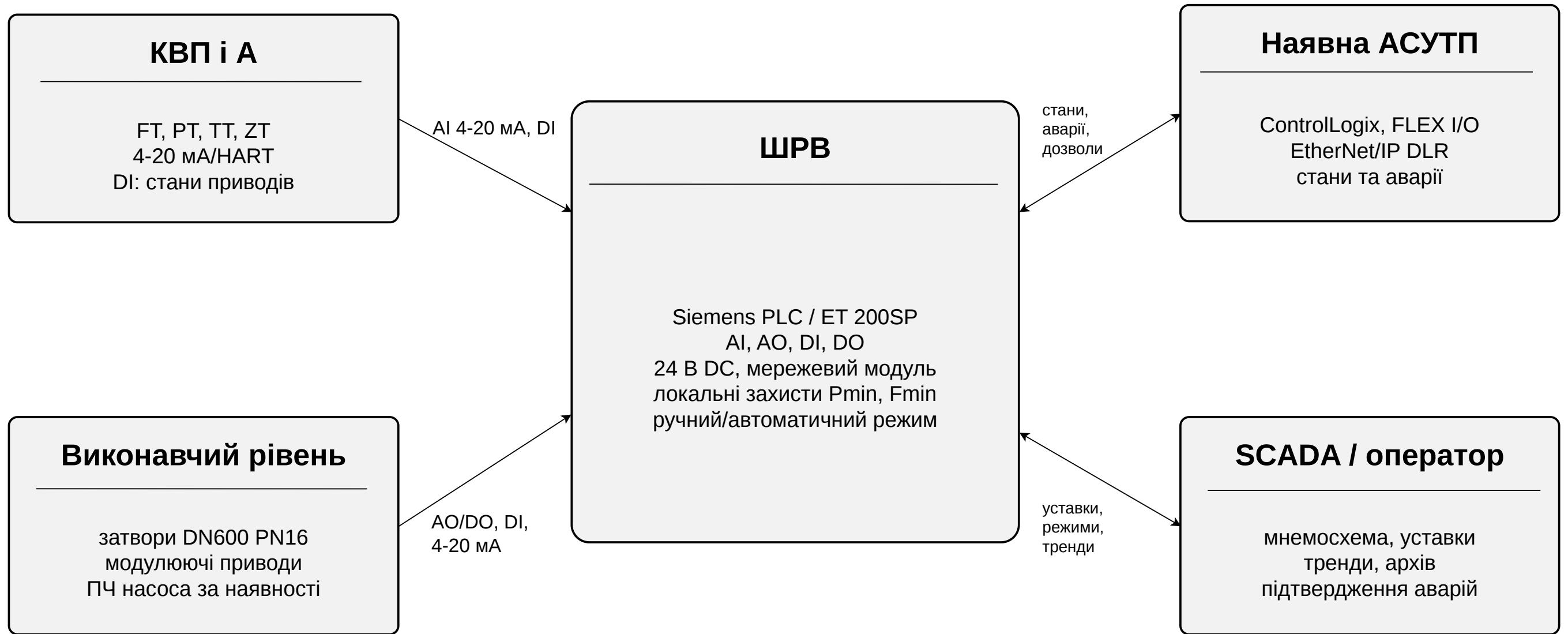
Умовні позначення блоків

- польові пристрої
- ШПВ / модулі I/O
- БП і захист
- PLC
- SCADA як ПЗ



Структурна схема комплексу технічних засобів

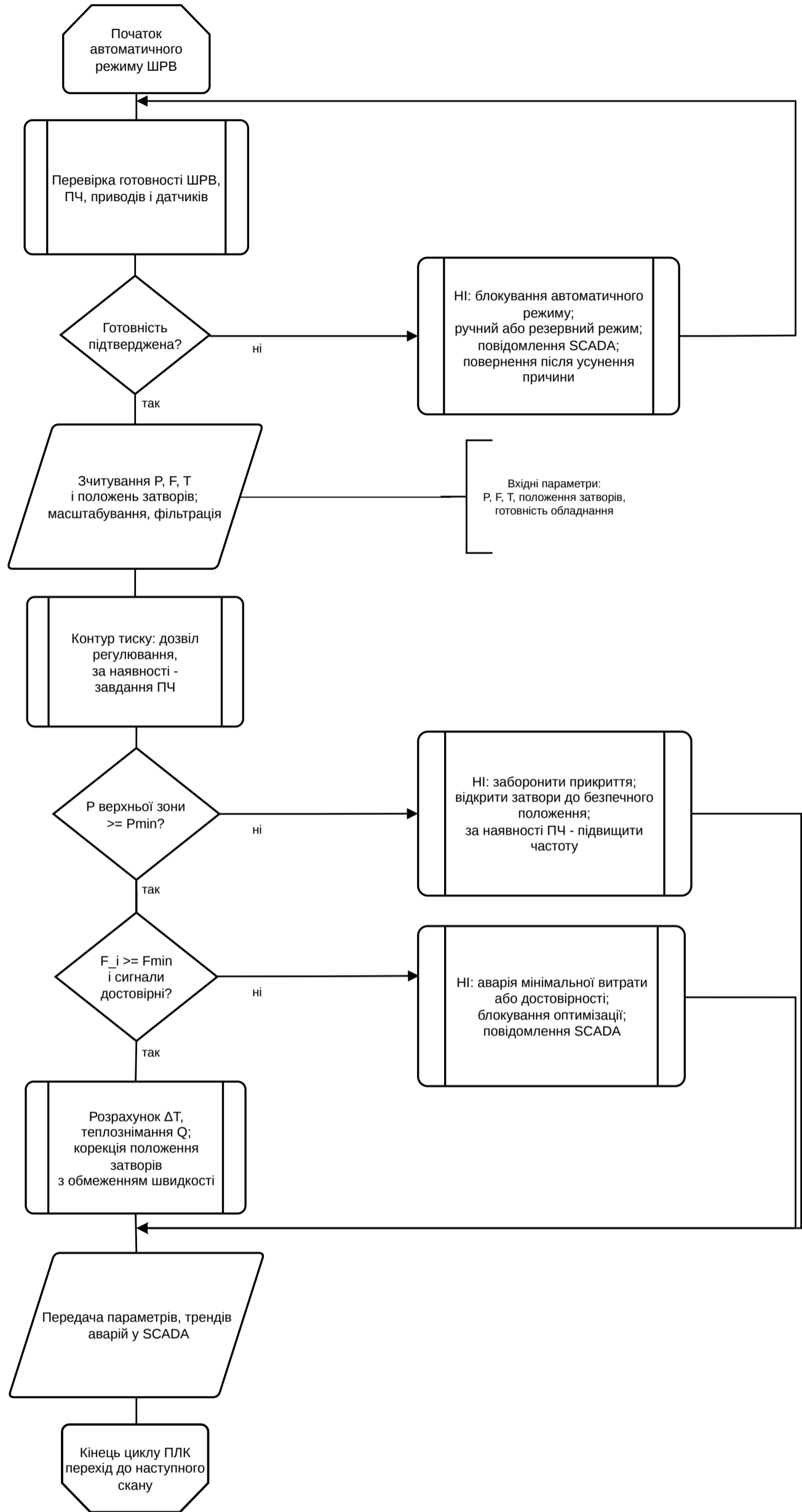
Вузол регулювання витрати з інтеграцією у верхній рівень АСУТП



———— керуючі та інформаційні зв'язки

----- дискретні/аналогові сигнали

↔ двосторонній обмін



						АВЕРС.1н11а.КРБ14209426.АТХ-БС					
						Доменний цех					
Зм.	Кіл.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Автоматизована система регулювання водного режиму охолодження ДП			Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив		Ситник О.С.							Н	3	3
Перевірив		Койфман О.О.									
Т. контр.											
						Блок-схема алгоритму автоматичного режиму ШРВ			ТОВ "ТУ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА" ФАВІТ, АВЕРС АВ-22-16, 2026		
Затвердив											