

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра автоматизації виробничих процесів

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри АВП

к.т.н., доцент

_____Дідик О.К.

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему

**«Модернізація та дослідження автоматизованої
системи керування процесом охолодження доменної
печі»**

**«Modernisation and research of an automated control
system for the blast furnace cooling process»**

Виконав здобувач вищої освіти II
курсу групи АК-23 М-1 (1,4)
174 «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та
робототехніка»

_____ Кузнецов В.В.
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи
д.т.н, професор

_____ Мацуї А.М.
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент

_____ 2024 р.

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Призначення та область застосування системи контролю технологічних параметрів охолодження доменної печі.....	5
1.1 Характеристика технологічного процесу охолодження та теплоконтролю доменної печі.....	5
1.2 Характеристика існуючих систем охолодження доменної печі.....	15
1.3 Обґрунтування необхідності модернізації з розробкою системи візуалізації технологічного процесу.....	20
1.4 Вимоги до автоматизованої системи контролю охолодження доменної печі.....	21
2 Склад контролю технологічних параметрів охолодження доменної печі.....	24
2.1 Математичне забезпечення системи контролю та візуалізації.....	24
2.2 Розробка алгоритму роботи АСК технологічних параметрів.....	31
3 Проектування системи контролю технологічних параметрів охолодження доменної печі.....	35
3.1 Обґрунтування вибору структури комплексу технічних засобів АСК технологічних параметрів охолодження ДП.....	35
4 Вибір та обґрунтування програмного забезпечення системи візуалізації, що розробляється.....	52
4.1 Система візуалізації АРМ оператора.....	52
4.2 Опис структури розробленої системи візуалізації технологічного процесу.....	55
Висновок.....	73
Література.....	75
Додаток А. Охорона праці.....	

ВСТУП

Сучасна доменна піч являє собою агрегат із повним водяним охолодженням, де ефективність роботи охолоджувальних елементів безпосередньо впливає на її експлуатаційну надійність. Основним завданням систем охолодження є забезпечення максимально тривалого збереження футерівки та створення такого теплового бар'єра для кожуха, який би захищав його від впливу високих температур. Це дозволяє печі функціонувати навіть за умов значних локальних пошкоджень кладки.

У цій кваліфікаційній роботі досліджується автоматизована система, яка забезпечує контроль технологічних параметрів процесу охолодження доменної печі.

У процесі роботи такого складного і потенційно небезпечного теплового обладнання, як доменна піч, ігнорування навіть одного параметра може призвести до серйозної аварійної ситуації. З огляду на це, під час вибору технічних пристроїв та програмного забезпечення акцент було зроблено на їхній високій надійності, перевірній стабільності роботи та позитивному досвіді використання у виробничих умовах доменного цеху.

Виникає необхідність впровадження централізованої автоматизованої системи диспетчерського контролю для моніторингу технологічних параметрів і управління всім обладнанням, яке забезпечує вимірювання стану печі та її охолодження. Це стає можливим завдяки відображенню показників на автоматизованому робочому місці оператора, адже інші підходи до керування системою є менш ефективними та економічно не вигідними.

У контексті цього виникає завдання кваліфікаційної роботи, яке спрямоване на вдосконалення діючої системи автоматизації, що здійснює моніторинг технологічних параметрів охолодження доменної печі.

Основна мета – розробка інноваційної системи візуалізації технологічного процесу, яка дозволить покращити ефективність функціонування домни, сприятиме економії ресурсів, оптимізує умови праці персоналу, що обслуговує обладнання, і забезпечить перехід на новий рівень управління технологічними операціями. Успішне виконання цього завдання створить основу для підвищення конкурентоспроможності виробничих процесів.

Для успішного виконання поставленого завдання необхідно вирішити такі ключові питання:

- провести детальний аналіз процесу охолодження доменної печі для визначення його основних характеристик;
- розробити технічне завдання, що міститиме вимоги до створення автоматизованої системи моніторингу параметрів охолодження печі;
- запропонувати й обґрунтувати структуру технічного обладнання, яке буде використовуватись для впровадження цієї системи.

Застосування передових технічних засобів автоматизації, таких як промислові комп'ютери, контролери, апаратура для введення і виведення даних, обладнання для моніторингу та інтерфейси для взаємодії людини з машиною, у поєднанні з сучасним програмним забезпеченням автоматизованих систем, включаючи OPC-сервери та SCADA-системи, сприяє підвищенню ефективності, надійності та стабільності роботи автоматизованої системи контролю охолодження доменної печі.

Реалізація поставлених завдань сприятиме створенню інноваційної, продуктивної та стабільної автоматизованої системи для моніторингу параметрів процесу охолодження доменної печі. Ця система буде розроблена відповідно до сучасних стандартів та вимог, які висуваються до автоматизованих систем контролю технологічних параметрів у складних умовах роботи доменних печей.

1 Призначення та область застосування системи контролю технологічних параметрів охолодження доменної печі

1.1 Характеристика технологічного процесу охолодження та теплоконтролю доменної печі

Огляд та особливості систем охолодження доменних печей.

Сучасні системи охолодження для доменних печей виконують ключову функцію захисту футерівки та обшивки агрегату від дії екстремально високих температур. Вони забезпечують надійність роботи конструкції на всій висоті – від основи до верхньої частини шахти. Завдяки таким системам піч може зберігати свою працездатність навіть у випадках суттєвих локальних пошкоджень кладки [1].

Для зниження температури теплонавантажених компонентів доменної печі використовуються такі технології охолодження:

- система, що передбачає використання проточної технічної води;
- випарна система охолодження;
- замкнений контур з хімічно очищеною водою, який забезпечує циркуляцію охолоджувального середовища.

На доменних печах зазвичай використовується комбінована система охолодження, яка об'єднує випарне охолодження та охолодження за допомогою проточної технічної води. Це поєднання забезпечує надійність, оскільки у разі збоїв або несправностей у роботі випарного охолодження теплонавантажені елементи печі переходять на резервне охолодження технічною водою. Такий підхід гарантує безперебійну роботу системи та захист критично важливих компонентів обладнання.

Система водяного охолодження забезпечує відведення тепла від ключових теплонавантажених компонентів доменної печі, таких як шахта

та розпар. Водночас, інша частина цієї системи охолоджує зони заплечиків і фурмен, які також зазнають значного теплового впливу під час роботи. Замкнута система охолодження відповідає за підтримку оптимальної температури в області горна, чавунних льоток і поду, що сприяє забезпеченню стабільної роботи всієї печі.

Система випарного охолодження (СВО), на відміну від закритих систем охолодження (ЗСО) та традиційних водоохолоджувальних систем, дозволяє ефективно використовувати приховану теплоту, що виділяється під час пароутворення. Такий підхід забезпечує низку переваг, серед яких: зменшення споживання води та енергії, а також зниження залежності роботи системи від перебоїв у енергопостачанні (за умови природної циркуляції охолоджувальної рідини). Крім того, тепло, яке сприймається системою, може бути використане у вигляді пари, що підвищує енергоефективність. Використання хімічно очищеної води запобігає утворенню накипу в системі, що значно подовжує термін експлуатації її елементів і зменшує витрати на технічне обслуговування.

Система замкнутого охолодження (ЗСО) суттєво відрізняється від систем відкритого охолодження (СВО) та традиційних водоохолоджувальних установок. Головною особливістю ЗСО є те, що рідина перебуває в замкнутому циклі постійної циркуляції: після проходження через етапи охолодження доменної печі вона охолоджується і знову спрямовується до об'єкта охолодження. Такий підхід забезпечує більш ефективне використання водних ресурсів і підвищує енергоефективність системи.

Принцип функціонування систем охолодження. На рис.1.1 представлено загальну схему роботи системи охолодження доменної печі. Вода забирається з водойми через спеціальний водозабірний фільтр і надходить до насосної станції. Далі вода розподіляється від насосної станції до доменної печі через два незалежні водоводи, кожен з яких

повністю забезпечує потреби всіх систем охолодження. Водоводи прокладаються в окремих паралельних тунелях для забезпечення надійності та зручності обслуговування. На вході до печі встановлено фільтри для очищення води від механічних забруднень. Кожен фільтр складається з двох камер, оснащених металевими сітками, які працюють поперемінно, не знижуючи загального обсягу потоку. Для контролю витрат води та перепаду тиску встановлені вимірювальні прилади, які показують кількість використаної води та різницю тисків на вході та виході фільтра. Якщо перепад тиску досягає значення $0,4 \text{ кг/см}^2$, необхідно негайно провести очищення фільтра для відновлення його пропускної здатності.

З приміщення фільтраційного обладнання вода транспортується через чотири водопровідні лінії до трьох кільцевих магістралей. Із цих магістралей вона спрямовується до розподільчих колекторів, які забезпечують контроль і керування процесом охолодження доменної печі. Далі вода подається до відділень підготовки, де виконується очищення від механічних забруднень, а також видалення органічних і неорганічних речовин.

Для систем водопостачання (СВО) використовується деаераційне хімічне очищення, яке виконує функцію видалення розчиненого кисню та вуглекислого газу з води. Присутність кисню, особливо в розігрітій воді, може завдавати суттєвої шкоди обладнанню котельного господарства, спричиняючи його корозію та скорочення терміну експлуатації [3].

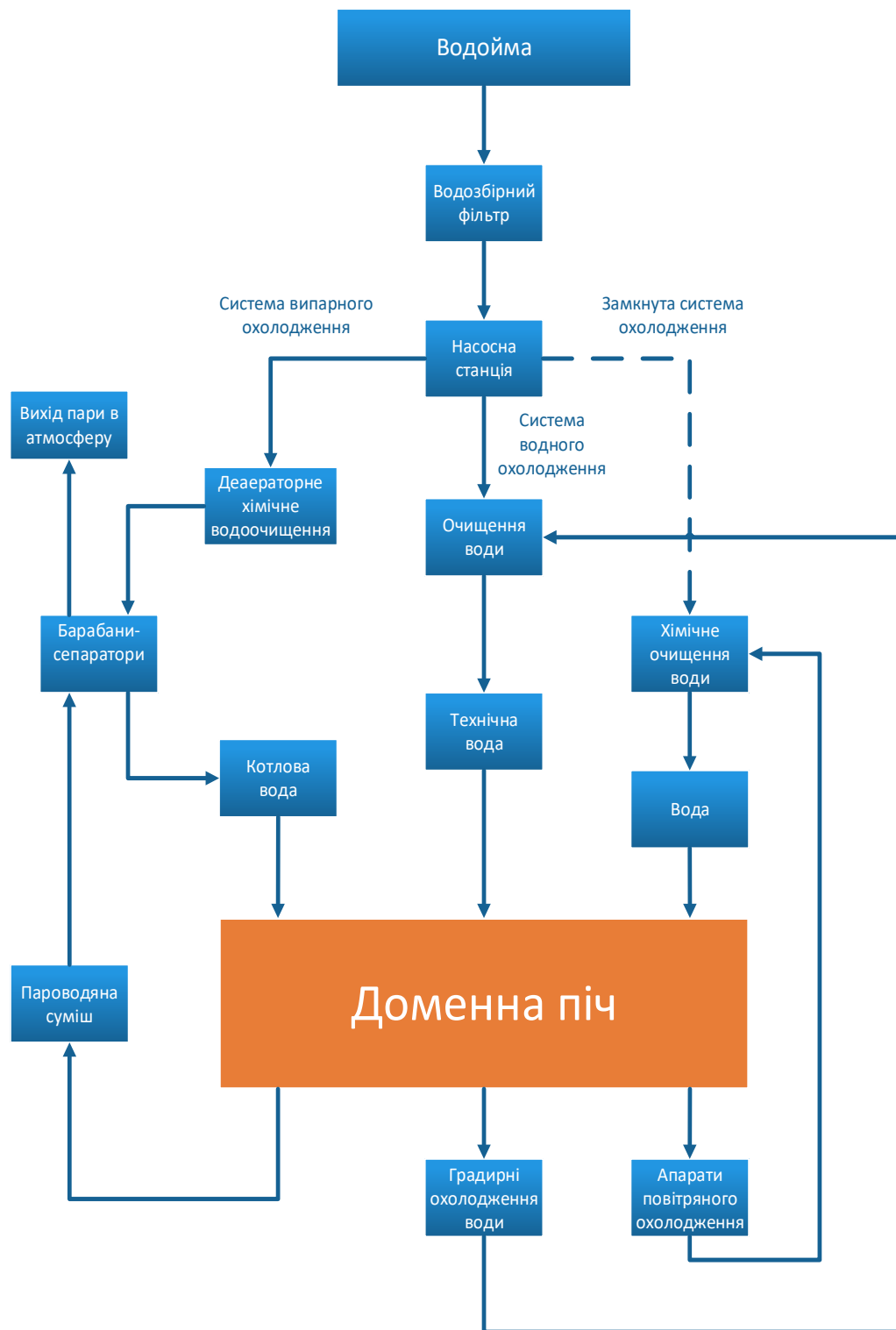


Рисунок 1.1 – Загальна схема систем охолодження доменної печі

Основний принцип хімічної деаерації полягає у введенні спеціальних реагентів у живильну воду, що забезпечує зв'язування розчинених газів, які спричиняють корозію. Такий підхід дозволяє

зменшити кількість агресивних газів у водному середовищі та мінімізувати їх негативний вплив на обладнання.

Після хімічного очищення в системі водопідготовки (СВО) вода спрямовується до холодильників шахти та пристроїв для розпарювання. Там, проходячи через барабани-сепаратори, відбувається її нагрівання, що забезпечує ефективний відвід тепла від холодильного обладнання.

Для закладів загальної середньої освіти (ЗСО) це передбачає використання хімічного методу очищення, спрямованого на забезпечення ефективної фільтрації води, що дозволяє її повторне застосування. Після завершення процесу хімічного очищення вода спрямовується до систем охолодження, які обслуговують горно, чавунні лотки та підину.

Для забезпечення ефективної роботи системи водяного охолодження проводиться процес очищення технічної води, який включає її пом'якшення та видалення мінеральних домішок. Після завершення очищення оброблена вода спрямовується до холодильних елементів, що охолоджують заплечики та область фурменої зони [4].

Вода, що використовується в замкнутій системі охолодження (ЗСО), після проходження через холодильники спрямовується у зовнішні мережі через спеціальні зливні резервуари і трубопроводи для подальшого очищення. У системах водообігу (СВО) пароводяна суміш повертається до барабанів-сепараторів, а частина пари виходить в атмосферу. Технічна вода, яка застосовується в системі водного охолодження, проходить процеси охолодження та очищення, що дає змогу використовувати її повторно у виробничому циклі. При цьому скидання такої води у водойми зведене до мінімуму (близько 3%), що сприяє раціональному використанню водних ресурсів.

Система випарного охолодження. Система випарного охолодження (СВО) забезпечує охолодження холодильників, розташованих у восьми рядах шахти доменної печі, а також її розпару. У

процесі випарного охолодження вода, циркулюючи в системі, нагрівається до точки кипіння, після чого тепло витрачається на утворення пари. Завдяки цьому механізму ефективно використовується прихована теплова енергія пароутворення для відведення надлишкового тепла від холодильників, що сприяє підтриманню оптимального температурного режиму роботи доменної печі [3, 5].

Оскільки прихована теплота, необхідна для перетворення води в пару, становить приблизно 540 ккал на кожний кілограм за умов атмосферного тиску, то під час випаровування одного кілограма рідини відбувається відведення теплової енергії об'ємом 540 ккал від поверхні стінок охолоджувального обладнання.

Система водяного охолодження (УВО) функціонує, використовуючи хімічно очищену та деаеровану воду. Циркуляція рідини відбувається завдяки природному процесу, який базується на різниці щільності води у низхідній трубі та пароводяної суміші в підйомній частині системи.

Кожна установка водяного охолодження включає в себе такі компоненти: охолоджувальні елементи, зокрема холодильники доменної печі; барабан-сепаратор, оснащений необхідною арматурою та гарнітурою; систему комунікацій, яка складається з підйомних, зливних, опускних труб, а також ліній дренажу, продувки, паропроводів і водовідведення технічної води; елементи запірної арматури; обладнання для регулювання, прилади для вимірювання й контролю параметрів, пристрої для сигналізації та автоматики; а також додаткове устаткування для забезпечення ефективної роботи системи.

Установки водяного охолодження функціонують на основі природної циркуляції, яка забезпечується завдяки різниці густини рідини між опускними трубами та елементами, що піддаються охолодженню.

У системі охолодження холодильників доменної печі, з метою забезпечення циркуляції під час запуску в умовах низьких температур зовнішнього середовища, до підйомних колекторів подається стислий повітряний потік.

Конструкцією установки передбачено також можливість використання резервного способу охолодження плит, який здійснюється за допомогою проточної технічної води. Обсяг витрати цієї води становить 600 кубічних метрів на годину.

Система УВО холодильників доменної печі має триколекторну конструкцію, оснащену запірною арматурою на окремих опускних трубопроводах і відокремленими зливними каналами. Охолоджувальні трубки виступів формують незалежний контур, який включає підйомний та опускний колектори. Для забезпечення можливості експлуатації контурів виступів із використанням технічної води, у випадках, коли холодильники працюють у режимі випарного охолодження, на підйомному колекторі встановлюється засувка з додатковим обвідним трубопроводом.

Система випарного охолодження включає чотири окремі секції. У кожній із них розміщено вісім вертикальних рядів, кожен із яких налічує по десять холодильних елементів. Варто зазначити, що кожна секція функціонує як автономна установка випарного охолодження.

На рис.1.2 зображена загальна структура установок для випарного охолодження.

Основні технічні характеристики таких установок включають:

- тиск у барабанах-сепараторах системи випарного охолодження досягає $0,5 \text{ кгс/см}^2$, а корисний об'єм води в кожному з них становить $5,53 \text{ м}^3$;
- запас води у барабанах-сепараторах забезпечує безперервну роботу установки протягом 1 години 34 хвилин навіть після припинення подачі живильної води за умови максимального виходу пари;

охолодження виступу використовується окрема вмонтована трубка, що функціонує автономно.

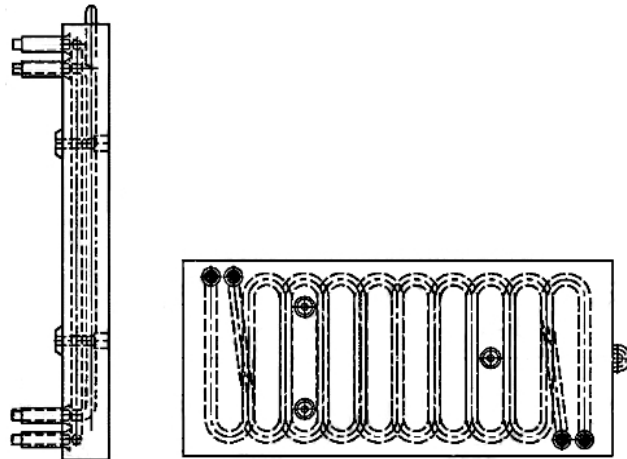


Рисунок 1.3 – Плитові гладкі холодильники з двома залитими змійовиками

Кожна секція оснащена барабаном-сепаратором (БС) моделі 01500x10-И, довжина якого становить 6000 мм (6 метрів). Основна функція цього обладнання – забезпечення замкнутого циклу циркуляції та розподіл пароводяної суміші на пару і воду. Крім того, барабан-сепаратор виконує роль резервуара для охолоджувальної води, що дозволяє установці працювати автономно, без додаткового підживлення, протягом 1 години 34 хвилин навіть за максимального виділення пари.

Усередині барабан-сепаратор обладнаний [2]:

1. Сепараційний пристрій включає в себе конструкцію, що складається з відбійного та направляючого щитів, а також перфорованого листа. До його складу також входить поживне корито, яке забезпечує рівномірний розподіл живильної води та попередньо нагріває її до температури, що відповідає температурі котельної води. Це дозволяє уникнути виникнення термічних напружень у стінках барабана при потраплянні прохолодної живильної води на нагріту поверхню барабана.
2. Трубопровід, оснащений соплами, забезпечує рівномірне збирання котлової води з найбільш концентрованого шару солей,

розташованого на відстані 300 мм нижче від стандартного рівня. Ця конструкція є частиною системи постійного продування.

3. Патрубок із забірною воронкою, встановленою на рівні нормального водяного горизонту, який виконує функцію автопереливу.

4. Патрубок опускного колектора, що монтується для запобігання потраплянню шламу, розташованим на 100 мм вище найнижчої точки барабана.

5. Патрубок, що знаходиться в найнижчій точці системи, призначеним для видалення шламу та спорожнення барабана-сепаратора, який виконує роль лінії шламової продувки.

6. Три патрубки, розміщеними рівномірно вздовж довжини барабана, які входять у приймальний відсік по лінії нормального рівня води.

7. Двома патрубками, інтегрованими у паровий і водяний об'єми для під'єднання водовказівних колонок і посудин зі стабільним рівнем рідини.

8. Пароприймальним колектором, закріпленим зверху барабана-сепаратора, що з'єднується з відсіком для чистої пари за допомогою патрубків розміру 0108x6 мм, розташованих рівномірно по довжині барабана.

9. Двома патрубками для подачі живильної води, які інтегровані в барабан через захисну гільзу з метою уникнення виникнення термонапруг у стінках барабана.

До комунікацій УВО відносяться [2,5]:

1. Опускні трубопроводи, що з'єднують батарейну станцію (БС) із розподільними гребінками – по три одиниці для кожної установки.

2. Окремі підвідні трубопроводи, які направляють потік від гребінок розподільників до кожного вертикального контуру; на один вертикальний ряд холодильників припадає три контури.

3. Перемикаючі елементи (калачі), що об'єднують охолоджувальні трубопроводи холодильників у вертикально орієнтовані контури.

4. Індивідуальні зворотні трубопроводи, які відводять воду з вертикальних контурів до збірних гребінок.

5. Окремі зливні лінії для кожного окремого контуру.

6. . Підйомні трубопроводи, що здійснюють транспортування від збірних гребінок до батарейної станції.

7. Групові зливи, які відводять воду з кожного підйомного трубопроводу.

8. Магістральні та локальні трубопроводи для транспортування технічної води до колектора, зокрема загальні та індивідуальні підводи від виступів.

9. Цехові водопровідні системи, що постачають живильну воду, включаючи індивідуальні підводи до кожної батарейної станції як напряду, так і через регулятор живлення.

10. Вихлопні трубопроводи, що забезпечують викид парових випарів із БС у зовнішнє середовище.

11. Дренажні системи та трубопроводи для відведення конденсату.

12. Загальні цехові лінії і спеціальні підвідні трубопроводи для постачання стисненого повітря до кожного підйомного трубопроводу.

Як уже згадувалося раніше, система водяного охолодження (СВО) має повний резерв технічної води. Її робота здійснюється у двох режимах: охолодження за допомогою проточної технічної води та випарного охолодження всіх холодильників. Перемикання між цими режимами здійснюється за принципом: переведення холодильників з проточного охолодження технічною водою на випарне охолодження та, навпаки, з випарного охолодження на охолодження проточною технічною водою.

Замкнута система охолодження. Замкнута система охолодження (ЗСО) розроблена для підтримання температурного режиму холодильників

горнової та подової частин печі. До складу циркуляційного контуру цієї системи (рис. 1.4) входять такі основні компоненти: холодильники, що виконують функцію охолодження; циркуляційні насоси (ЦН), які забезпечують рух охолоджувального середовища; а також апарати повітряного охолодження (АПО), що сприяють ефективному тепловідведенню [4].

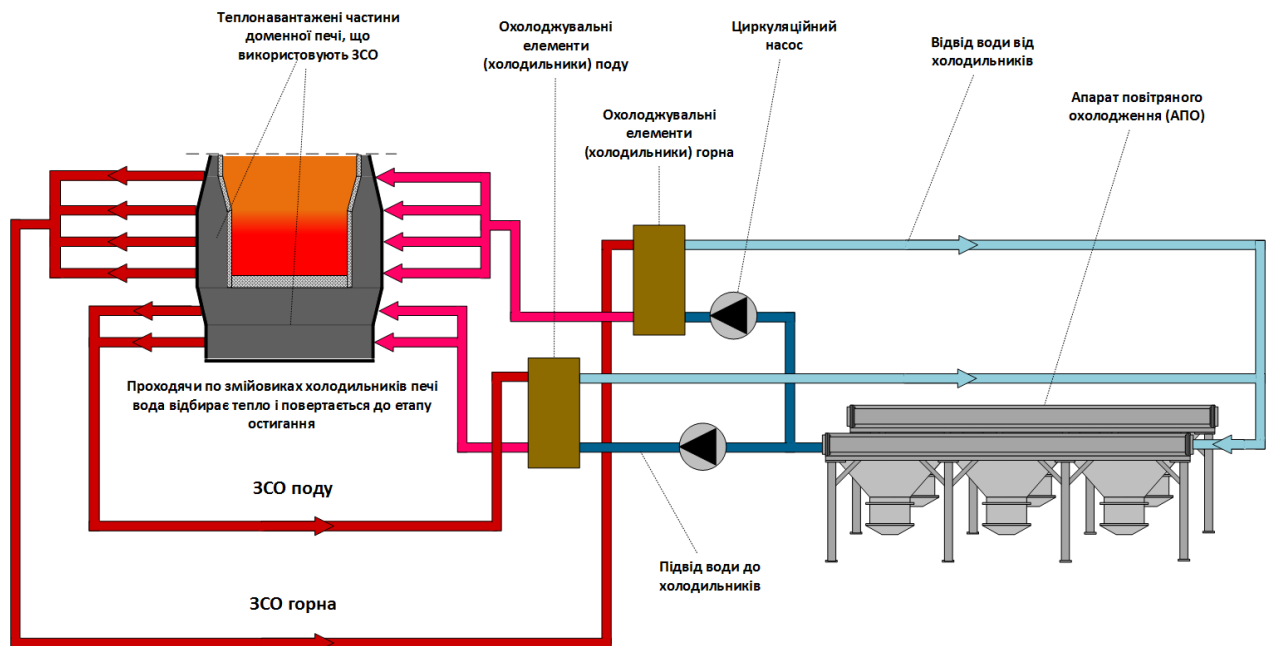


Рисунок 1.4 – Замкнута система охолодження доменної печі

(ЗСО) має унікальну особливість, яка відрізняє її від інших подібних систем. Основна відмінність полягає в тому, що вода циркулює в замкненому контурі без зовнішніх втрат: після проходження всіх етапів охолодження доменної печі вона охолоджується та повертається в систему для повторного використання.

У систему замкнутого контуру охолодження входять холодильні плити, які охоплюють ділянку від нижнього поду до фурменної зони, включаючи горизонтальну зв'язку холодильників, що встановлені в одному ряді.

Охолоджувальні пристрої чавунних льоток мають чотириконтурну конструкцію, тоді як холодильники, встановлені у нижньому горні та верхньому поді, є двоконтурними. Для охолодження систем захисту

обладнання (ЗСО) використовується вода, що пройшла процес хімічного очищення.

Рух води через охолоджувальні компоненти доменної печі забезпечується за допомогою циркуляційного насоса (ЦН), після чого вона спрямовується на охолодження в апарати повітряного охолодження (АПО) (рис. 1.4). Проходячи крізь змійовики теплообмінників печі, вода поглинає теплову енергію, а потім повертається для подальшого охолодження в системі апаратів, призначених для зниження її температури.

Обсяг циркулюючої води розраховується з урахуванням потреби забезпечення оптимальної швидкості руху в трубах охолоджувальних елементів та визначається числом паралельно працюючих контурів змійовиків.

Теплова продуктивність апаратів для повітряного охолодження визначається з урахуванням повного зниження температури циркулюючої води за умов максимально можливого теплового навантаження на елементи, які охолоджуються, під час інтенсивної роботи доменної печі. При цьому враховується температура повітря, що використовується для охолодження, яка становить $+35^{\circ}\text{C}$. Додатково, для забезпечення стабільної циркуляції води в охолоджувальних елементах, важливо підтримувати її температуру на рівні, що перевищує точку кипіння мінімум на 20°C .

Замкнута система включає в себе пристрої для відокремлення шламу, такі як шламовідокремлювачі, а також передбачає періодичне продування, яке забезпечує ефективне видалення накопичених осадів.

Система «Теплоконтроль». Система «Теплоконтроль» є складовою частиною нижнього рівня ієрархічної структури автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУТП) доменної печі. Її функціональне призначення включає:

- автоматизованого збору, моніторингу та передачі на вищий рівень управління даних про стан системи охолодження доменної печі та повітронагрівачів;
- спостереження за витратою і температурними показниками води, яка подається на холодильники горна та верхнього поду;
- розрахунку температурних перепадів у холодильниках, що обслуговують горно і верхню частину поду.

Дані, які отримує ця система, інтегруються з інформацією, зібраною іншими підсистемами нижчого рівня ієрархічної структури. В результаті формується єдина інформаційна база, яка забезпечує функціонування систем верхнього рівня управління.

Функції системи:

- здійснення збору, аналізу та передачі даних про стан охолоджувальних систем горна, чавунного жолоба, верхнього поду та фурм;
- отримання, оброблення та передача інформації щодо охолодження компонентів повітронагрівачів;
- моніторинг параметрів системи охолодження доменної печі, а також контроль температурних режимів охолоджуваних її частин;
- перевірка функціональності датчиків вводу-виводу та забезпечення точності їх показників;
- забезпечення взаємодії з іншими технологічними системами нижнього рівня.

1.2 Характеристика існуючих систем охолодження доменної печі

Системи охолодження є невід'ємними елементами автоматизованих систем управління технологічними параметрами (АСУТП) доменної печі. Їх основним призначенням є реалізація таких функцій [6]:

- автоматизованого збору та аналізу даних про технологічні показники охолодження доменної печі;
- моніторингу параметрів технологічного процесу з подальшим інформуванням про критичні чи аварійні значення;
- автоматизованого регулювання та підтримання стабільності ключових параметрів охолодження доменної печі;
- діагностики технічного стану обладнання;
- забезпечення керування окремими елементами технологічного обладнання.

Системи охолодження виконують контроль і управління на трьох функціональних рівнях:

- Польовий рівень, який включає датчики для зчитування технологічних параметрів, виконавчі пристрої та пускові механізми.
- Рівень базової автоматизації, що відповідає за збір даних, їх первинну обробку, контроль та управління обладнанням і технологічними процесами.
- Верхній рівень, призначений для реалізації задач, пов'язаних із відображенням інформації, архівуванням даних і проведенням технологічних розрахунків.

Нижній рівень системи реалізований на базі ПЛК.

Операторські станції, інженерні пульти, інформаційні табло, серверні вузли та контролери з'єднані між собою через мережу Ethernet. До цієї мережі інтегровані також додаткові суміжні системи, що забезпечує їхню спільну роботу. Живлення всього комплексу обчислювальної техніки організовано за допомогою джерел безперебійного електропостачання, що гарантує стабільну роботу навіть у разі перебоїв з електроенергією.

Нижній рівень системи класифікують за функціональними характеристиками відповідно до технічної конфігурації програмованих логічних контролерів (ПЛК) і підключених станцій розподіленого введення/виведення. Ця класифікація дозволяє виділити наступні підсистеми:

- СВО з повним забезпеченням проточної технічної води;
- Система водного охолодження;
- Система замкнутого охолодження;
- Теплоконтроль.

У рамках системи візуалізації для забезпечення ефективної взаємодії між технологічним персоналом і програмним забезпеченням передбачено використання операторських робочих станцій. Крім того, для виконання налагоджувальних операцій і технічного обслуговування обладнання створено спеціалізовані налагоджувальні станції.

У системі передбачено три режими управління обладнанням: дистанційний, автоматичний і локальний. Віддалене та автоматизоване управління механізмами та виконавчими пристроями забезпечується завдяки сигналам, що надходять від програмованого логічного контролера (ПЛК).

Дистанційне управління передбачає безпосередній контроль оператором за станом виконавчого механізму. Це здійснюється через операторські пульти, які приймають дані, введені за допомогою відповідних засобів вводу, з метою оперативного реагування та управління.

Автоматизоване управління полягає у створенні та передачі команд для впливу на виконавчі механізми, що здійснюється на основі роботи алгоритмів, розроблених для автоматизації процесу управління.

Оператор за допомогою пултів управління та спеціальних засобів введення визначає режим роботи системи, обираючи між дистанційним

або автоматизованим управлінням залежно від поточних потреб та умов оперативного процесу.

Управління виконавчими механізмами та пристроями на місцевому рівні здійснюється за допомогою спеціалізованих засобів ручного контролю. Для кожного окремого виконавчого механізму передбачена можливість індивідуального вибору способу керування. Це відбувається шляхом встановлення відповідного режиму роботи, який забезпечує виконання функцій при локальному управлінні.

- припиняється передача відповідного сигналу або сигналів управління з програмованого логічного контролера (ПЛК) до виконавчого механізму (ВМ);

- генеруються та спрямовуються управляючі сигнали до виконавчих механізмів з пульта для ручного управління;

- у ПЛК створюється дискретний сигнал, який вказує на вибір ручного режиму управління виконавчим механізмом.

Обмін інформацією між окремими компонентами та елементами системи відбувається за допомогою наступних механізмів:

1. На етапі обробки безперервних аналогових сигналів, які надходять від сенсорів технологічних параметрів і передаються до програмованих логічних контролерів (ПЛК).

2. На етапі взаємодії електричних дискретних сигналів між сенсорами, які визначають стан обладнання, та ПЛК.

3. На рівні передачі дискретних сигналів від ПЛК до виконавчих механізмів і пристроїв.

4. У рамках комунікаційних промислових мереж, що забезпечують обмін даними між ПЛК і операторськими панелями на нижньому рівні, а також між ПЛК і персональними комп'ютерами на верхньому рівні.

Система управління охолодженням розроблена з використанням контролера ПЛК3, який є складовою частиною апаратно-програмного

комплексу автоматизованої системи управління технологічними процесами доменної печі. Для функціонування цієї системи застосовано спеціалізоване програмне забезпечення, адаптоване до роботи з обраним контролером [7].

Програмне забезпечення розроблено на основі модульного підходу з уніфікацією, орієнтованою на типи обробки даних. Загальна структура програмного комплексу передбачає поділ на такі основні компоненти:

- обробка вхідних аналогових сигналів;
- діагностика вхідних аналогових сигналів;
- допоміжне ПЗ;
- спеціальне ПЗ.

Усі програмні засоби, за винятком спеціалізованих, є ідентичними для контролерів автоматизованої системи управління технологічними процесами доменної печі. Вони включають функції, функціональні блоки та організаційні модулі.

Параметри, пов'язані з роботою системи охолодження, відображаються на дисплеях операторських станцій. На графічних інтерфейсах системи візуалізації представлено таку інформацію:

- поточні значення технологічних параметрів;
- часові діаграми технологічних параметрів;
- аварійні та технологічні повідомлення;
- інформування про стан каналів введення та виведення, а також сповіщення щодо можливих збоїв у роботі модулів контролерів.

Від електричних схем, які включають датчики, перетворювачі, елементи керування та блоки ручного управління, отримується інформація про поточний стан системи. У свою чергу, з системи до електрообладнання передаються сигнали взаємних блокувань і команди для керування механізмами. Також до схем регулювання надходять сигнали широтно-

імпульсного регулювання, що забезпечують контроль і коригування технологічних процесів.

Джерелами інформації для контролерів є [7]:

1. Дані, що стосуються параметрів температури, тиску, витрати (або перепаду тиску), а також позицій регулювальних органів виконавчих механізмів, отримуються від відповідних сенсорів та перетворювачів.

2. Сигнали для контролю рівня води передаються через інтерфейс RS-485, використовуючи дифманометри, а також отримується інформація від систем, що вимірюють середню об'ємну витрату технічної води.

3. Відомості про стан і функціонування механізмів надходять із схем керування електроприводами цих пристроїв.

4. Елементи керування, включаючи ключі вибору режимів і управління механізмами та регуляторними контурами, забезпечують взаємодію з системою керування.

Вихідною інформацією контролерів є:

- сигнали, які передаються в системи регулювання, керування механізмами та відображення сигналізації на мнемощитах;
- сигнали, що виводяться на цифрові індикатори мнемощита в центральному пульті управління;
- інформаційні масиви оперативного характеру та нормативно-довідкові дані, а також інформація, що забезпечує взаємодію контролерів із суміжними системами та сервером ДЦ-1.

Сигнали, що потрапляють до програмованого логічного контролера (ПЛК), поділяються на вхідні аналогові, а також дискретні сигнали, які можуть бути як вхідними, так і вихідними.

Приймачами інформації для контролерів є:

- механізми, що виконують функції регулювання параметрів технологічного процесу в контурах управління;
- сервери АСУТП ДП;

- робітники і налагоджувальні станції.

Значення технологічних параметрів, сигнали стану механізмів і положення ключів реєструються під час кожного циклу сканування програмного забезпечення контролерів.

У процесі роботи система візуалізації отримує від контролерів дані про перебіг технологічного процесу, стан обладнання, а також повідомлення про порушення встановлених технологічних або аварійних меж.

Зі системи візуалізації дані передаються до контролерів, зокрема:

- Режими функціонування контурів регулювання;
- Дистанційні команди для механізмів регулювання;
- Дистанційні команди керування електроприводами механізмів;
- Завдання, що постачаються на регулятори.

Візуалізація є ключовим компонентом систем моніторингу та управління технологічними процесами. Вона включає в себе отримання вхідних даних від різноманітних контролерів та генерацію вихідних відео кадрів і документів, які відображають важливу інформацію [7]:

- Відеокадри, що демонструють поточний стан контрольованих параметрів виробничого процесу
- Попереджувальні відеокадри, які сповіщають про очікуване або фактичне виходження технологічних показників за допустимі межі
- Графічні відображення динаміки необхідних технологічних параметрів

1.3 Обґрунтування необхідності модернізації з розробкою системи візуалізації технологічного процесу

Задля зростання техніко-економічних параметрів роботи доменної печі пропонується впровадження системи візуалізації процесів

охолодження. Дана система дозволить здійснювати дистанційний моніторинг, налаштовувати вимірювальні канали, накопичувати та зберігати інформацію. Підвищення ефективності управління забезпечується завдяки застосуванню сучасних методів керування технологічними процесами, математичних моделей об'єкта управління, а також новітніх засобів автоматизації.

Створення та інтеграція системи візуалізації забезпечить значне покращення і вдосконалення функціонування автоматизованої системи моніторингу технологічних параметрів охолодження печі. Основні переваги включають:

- оперативний доступ до точної та актуальної технологічної інформації;
- забезпечення оптимальних режимів роботи технологічних процесів;
- поліпшення механізмів моніторингу й управління процесами, що відбуваються на віддалених об'єктах;
- можливість ведення протоколів і створення архівів даних;
- аналіз ефективності дій операторів та стану обладнання;
- проведення розслідувань аварійних ситуацій за допомогою архівованих даних;
- підвищення рівня ресурсозбереження і продуктивності роботи системи;
- перехід до сучасного формату управління технологічними процесами;
- значне покращення умов праці для персоналу, відповідального за обслуговування;
- раціоналізація чисельності співробітників, залучених до оперативної роботи.

Розроблювана система візуалізації, яка містить у собі комп'ютерний комплекс зі збором даних, надає можливість здійснювати моніторинг технологічних процесів у реальному часі незалежно від віддаленості від об'єктів управління, зокрема, систем охолодження печі. Окрім цього, вона дозволяє коригувати режими роботи основного обладнання та автоматизованих засобів, а також контролювати підтримку необхідних технологічних параметрів.

1.4 Вимоги до автоматизованої системи контролю охолодження доменної печі

Вимоги до системи в цілому. Система автоматизації для контролю технологічних параметрів охолодження доменної печі має забезпечувати реалізацію таких основних функцій [9]:

1. Інформаційний аспект: здійснення централізованого моніторингу ключових параметрів технологічного процесу, фіксація історичних даних щодо його перебігу, контроль за технічним станом обладнання, виконання обчислювальних і логічних операцій, спрямованих на обробку інформації.

2. Керуючий напрямок: автоматизація управління виробничим процесом на відстані, а також вибір і налаштування відповідних режимів роботи технологічного устаткування.

3. Допоміжні функції: проведення діагностики технічного стану апаратної частини системи автоматизації охолодження доменної печі, підвищення стійкості до впливу перешкод і виходу обладнання з ладу, забезпечення працездатності в умовах перебоїв зовнішнього електропостачання, а також створення можливостей для подальшого вдосконалення, розширення і модернізації системи.

Вимоги до структури та функціонування системи. Під час створення системи необхідно забезпечити впровадження ієрархічної

структури, яка передбачає розподіл функцій управління та контролю між різними рівнями. Розробка повинна повністю відповідати критеріям і параметрам, визначеним у цьому технічному завданні.

Функціональний розподіл у системі слід реалізувати таким чином, щоб забезпечити її високу стійкість до відмов окремих компонентів. Водночас необхідно зберігати централізовану структуру для прийняття рішень, що стосуються управління комплексом взаємопов'язаних технологічних процесів. Такий підхід дозволить підвищити надійність системи і сприятиме ефективній координації всіх етапів роботи.

Система має бути розроблена у формі структури, яка включає кілька функціональних підсистем і враховує принципи декомпозиції. Ця декомпозиція здійснюється як за технологічними характеристиками, так і відповідно до ієрархічної організації завдань, пов'язаних із реалізацією управлінських функцій.

Під час створення системи для візуалізації контролю технологічних параметрів охолодження доменної печі слід враховувати, що така система належить до категорії засобів людино-машинної взаємодії (ЛМІ). Вона представляє собою верхній рівень автоматизованої системи контролю (АСК), призначеної для забезпечення ефективного управління процесом охолодження печі. Ця система має інтегруватися в загальну автоматизовану структуру оперативного диспетчерського управління (АСОДУ) комбінату, а також бути безпосередньо пов'язаною з роботою доменного цеху №1.

Інформація, що збирається в процесі роботи нижніх рівнів автоматизованої системи керування охолодженням печі, має передаватися на верхній рівень за допомогою Ethernet-мережі.

Інформація повинна оновлюватися з інтервалом, що не перевищує одну хвилину. Точний набір даних, які будуть використовуватися в системі, встановлюється на подальших етапах розробки проєкту.

Таким чином, у бакалаврській роботі об'єктом розробки виступає автоматизована система, призначена для моніторингу технологічних параметрів охолодження доменної печі на підприємстві. У рамках цієї роботи передбачається створення спеціалізованої системи, яка забезпечуватиме візуалізацію технологічного процесу. Зазначена автоматизована система контролю охолодження доменної печі має бути спроектована як дворівнева структура [7, 9]:

- Початковий рівень автоматизації, безпосередньо інтегрований з технологічним обладнанням, що виконує функції збору та аналізу даних, а також забезпечує контроль і керування як самим обладнанням, так і технологічними процесами.

- Вищий рівень автоматизації, відповідальний за задачі візуалізації процесів, збереження інформації в архіві, виконання технологічних розрахунків, а також передачу отриманих даних до системи АСОДУ та організацію людино-машинної взаємодії. Для цього застосовуються апаратні ресурси у вигляді робочих станцій, які розташовані на автоматизованих робочих місцях операторів.

Нижній рівень системи має забезпечувати надходження до неї точної та повної інформації про перебіг технологічного процесу. Дані, що передаються від первинних датчиків та приладів, повинні відповідати встановленим технічним параметрам, зокрема: дискретні сигнали (наприклад, 0–24 В або 0–220 В), аналогові сигнали (у діапазоні 4–20 мА), а також цифрові дані з використанням інтерфейсів RS232 або RS485.

2 Склад системи контролю технологічних параметрів охолодження доменної печі

2.1 Математичне забезпечення системи контролю та візуалізації

Створення сучасних комп'ютеризованих систем для охолодження доменних печей ґрунтується на розробці ефективних алгоритмів управління цим процесом. У наш час одним із найважливіших завдань є впровадження інноваційних технологій, що включають новітні вимірювальні прилади, регулювальні засоби та обладнання, побудоване на основі високопродуктивних промислових логічних контролерів. Сучасні технічні можливості дають змогу використовувати такі системи не лише для вдосконалення виробничих процесів, але й для навчання операторів, моделювання робочих сценаріїв, аналізу ефективності виробництва та прогнозування його подальшого розвитку.

Основними функціями апаратури автоматизації охолодження ДП є:

1. Визначення оптимального набору первинних пристроїв та апаратури для виконання вимірювань, регулювання та діагностики ключових параметрів охолодження доменної печі; впровадження дистанційного управління виробничими процесами з використанням автоматизованих елементів, а також забезпечення локального контролю для окремих механізмів.

2. Розробка та впровадження необхідних блокувальних алгоритмів між різними механізмами, що відповідають за ефективне охолодження конструктивних елементів печі, з метою уникнення можливих збоїв у роботі.

3. Організація світлової та звукової сигналізації для інформування про стабільне функціонування обладнання, такого як холодильники, сепаратори, механізми, вимірювальні пристрої та комунікації. Також

передбачається передача аварійних сигналів у разі виникнення несправностей, дефектів або пошкоджень.

4. Математичне забезпечення для системи моніторингу та візуалізації процесу охолодження доменної печі включає набір алгоритмів, які забезпечують аналіз і обробку даних із різних вимірювальних пристроїв. Зокрема, це алгоритми для обробки даних, отриманих від термометрів опору, ультразвукових витратомірів і лічильників, датчиків тиску, радіохвильових рівнемірів та вихрових витратомірів. Крім того, система передбачає використання алгоритмів для цифрової фільтрації аналогових сигналів, а також лінійного перетворення і масштабування вимірюваних параметрів, що сприяє підвищенню точності й ефективності роботи системи [8].

Обробка показників термометрів опору. Температура розраховується за формулою:

$$T = K_c \cdot (R - R_0) \quad (2.1)$$

де T – фактична температура в $^{\circ}\text{C}$; R – вихідне значення, каналу модуля перетворення температури, Ом; R_0 – опір термометра при 0°C , Ом; K_c – коефіцієнт пропорційності, град/Ом; R_0 та K_c – значення з НДІ (визначаються паспортними характеристиками термометра опору).

Процес перевірки різниці значень опорів двох термометрів опору при температурах 0°C і 100°C здійснюється за наступною послідовністю дій.

На базі отриманих величин опорів термопар при температурах 0°C (R_0 та R_0') та 100°C (R_{100} та R_{100}') обчислюється різниця цих опорів за наступним рівнянням:

$$\begin{aligned} \Delta R_{100} &= R_{0_1} - R_{0_2} \\ \Delta R_0 &= R_{100_1} - R_{100_2} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Значення температурних різниць у еквівалентному вираженні розраховуються за допомогою наведених формул:

$$\Delta t_0 = \frac{\Delta R_0}{\gamma}$$

$$\Delta t_{100} = \frac{\Delta R_{100}}{\gamma} \quad (2.3)$$

де γ – Чутливість термометрів опору визначається їх технічними характеристиками, що зазначені у паспорті приладу.

Розрахунок перепад температури здійснюється за формулою:

$$\Delta T = T_{\text{вих}} - T_{\text{вх}} \quad (2.4)$$

де ΔT – перепад температури, °C; $T_{\text{вих}}$ – температура на виході контуру охолодження, °C; $T_{\text{вх}}$ – температура на вході контуру охолодження, °C.

Середньогодинні показники температури обчислюються за допомогою такої формули:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \cdot \sum_i^N T_i \quad (2.5)$$

де N – кількість прийнятих від датчика значень на протязі години; T_i – показання датчика температури.

Обробка показників ультразвукових витратомірів-лічильників.

Визначення характеристик швидкості потоку та обсягу витрати води, яка транспортується трубопроводами для подачі до холодильників охолодження елементів конструкції доменної печі, передбачає застосування витратомірів-лічильників. Ці пристрої забезпечують моніторинг зазначених параметрів, що дозволяє контролювати процес та підтримувати його на оптимальному рівні [12].

Витратоміри-лічильники, що використовують електроакустичні перетворювачі (ПЕА), забезпечують почергове випромінювання ультразвукових сигналів (УЗС) у рідину, яка знаходиться в русі. Одночасно з цим вони здійснюють прийом сигналів, спрямованих під певним кутом до осі трубопроводу, як у напрямку потоку рідини (від ПЕА1 до ПЕА2), так і у зворотному напрямку (від ПЕА2 до ПЕА1)

відповідно до рис.2.1. У результаті таких вимірювань визначається різниця у часі поширення ультразвукових сигналів у напрямку потоку та проти нього, позначена як ΔT .

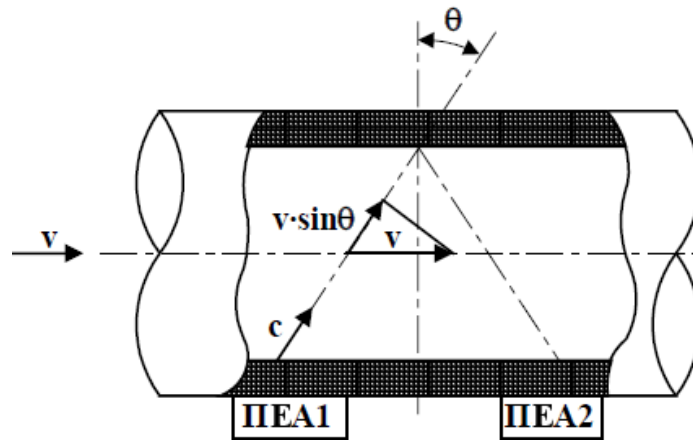


Рисунок 2.1 – УЗС випромінювання ПЕА витратоміра-лічильника

Значення ΔT , яке є пропорційним до швидкості, а відповідно і до обсягу витрати рідини, обчислюється за допомогою такого виразу

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 2 \cdot n \cdot v \cdot D \cdot \operatorname{tg} \theta / c^2 + T_3 \quad (2.6)$$

де T_1 , T_2 – повний час поширення УЗС відповідно за і проти потоку рідини;

$$T_{1,2} = \frac{D}{c \cdot \cos} \cdot \left(1 \mp \frac{v \cdot \sin \theta}{c}\right) + T_{\text{ст}1,2} + T_{\text{зв}1,2} \quad (2.7)$$

$$T_3 = T_{\text{ст}2} - T_{\text{ст}1} + T_{\text{зв}2} - T_{\text{зв}1} \quad (2.8)$$

де n – коефіцієнт, що характеризує налаштування ПЕА (з урахуванням відображення або без нього, значення дорівнює 2 або 1); D – внутрішній діаметр трубопроводу; c , θ – швидкість та кут поширення ультразвукових сигналів у нерухомій рідині; v – середня швидкість потоку рідини уздовж ультразвукового променя; $T_{\text{СТ}}$, $T_{\text{ЗВ}}$ – додаткова затримка проходження ультразвукових сигналів у стінках трубопроводу, звукопровідниках ПЕА та в електронній частині тракту при русі ультразвукових хвиль у напрямку потоку або проти нього.

На основі виразу (2.6) можна обчислити величину швидкості, усереднену вздовж траєкторії ультразвукового променя, наступним чином

$$v = \frac{c^2}{2 \cdot n \cdot D \cdot \operatorname{tg} \theta} \cdot [(T_2 - T_1) - T_3] \quad (2.9)$$

Значення витрати розраховується у відповідності з виразом

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v \cdot K_r \quad (2.10)$$

де $K_r = v_{cp}/v$ – гідродинамічний коефіцієнт.

Гідродинамічний коефіцієнт є величиною, яка визначається як співвідношення середньої швидкості руху рідини в трубопроводі до швидкості потоку, усередненої за акустичним каналом витратоміра. Його розрахунок базується на врахуванні таких параметрів, як шорсткість внутрішніх стінок трубопроводу, в'язкість контрольованої рідини, діаметр трубопроводу, а також виміряна швидкість потоку. Крім того, на значення коефіцієнта впливає метод встановлення первинних акустичних перетворювачів (ПЕА) – уздовж хорди або через діаметр трубопроводу.

Зміна швидкості розповсюдження ультразвукових сигналів (УЗС) у робочому середовищі, яка залежить від температури, тиску або хімічного складу рідини, враховується в пристрої шляхом визначення швидкості ультразвуку. Це досягається через вимірювання часу, необхідного для подолання сигналом відстані між п'єзоелектричними акустичними датчиками (ПЕА), позначеного як T_c

$$T_c = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (2.11)$$

Обсяг рідини V за інтервал часу T розраховується за формулою

$$V = \int_0^T Q(t) \cdot dt \quad (2.12)$$

На основі запропонованих формул виконуються розрахунки та здійснюється відображення параметрів потоку. Серед них: середня об'ємна витрата, обсяг рідини в обох напрямках у наростаючому підсумку,

алгебраїчна сума цих обсягів, швидкість руху потоку, а також швидкість поширення ультразвукових хвиль у робочому середовищі.

Обробка показників датчиків тиску. Процес перетворення вихідних сигналів, що надходять від датчиків тиску води в трубопровідних системах та пари в сепараційних барабанах, у відповідні інженерні одиниці здійснюється наступним чином [16].

Номінальні значення тиску, які визначають діапазон вимірювання води у трубопроводах, обчислюються за допомогою наступної формули

$$P_{HD} = P_{BMB} - P_{HMB} \quad (2.13)$$

де P_{BMB} , P_{HMB} – відповідно верхня і нижня межа вимірювань датчика.

Величина вихідного сигналу, яка характеризується лінійною залежністю, обчислюється за формулою

$$Y_{BIX} = \left| \frac{Y_{BMB} - Y_{HMB}}{P_{HD}} \cdot P \right| + Y_{HMB} \quad (2.14)$$

де P – поточне значення вимірюваного тиску; Y_{BMB} , Y_{HMB} – значення вихідного сигналу відповідні верхній і нижній межі вимірювань датчика P_{BMB} та P_{HMB} .

Величина вихідного сигналу, що відповідає тиску пари в БС, визначається на основі принципу перетворення змін взаємної індуктивності, які залежать від величини вимірюваного тиску, в стандартизований вихідний сигнал змінного струму

$$M(p) = M_B \cdot X + \Delta M \quad (2.15)$$

де $M(p)$ – взаємна індуктивність між первинним і вторинним ланцюгами, мГн; M_B – номінальне значення верхньої межі взаємної індуктивності, мГн; X – відносне значення вимірюваного тиску;

Розрахунок відносного значення тиску, що вимірюється, здійснюється за допомогою такої формули:

$$X = \frac{P}{P_{\text{НАДЛ. МАХ}}} \quad (2.16)$$

де P – вимірюваний надлишковий тиск, МПа (кг/см²); $P_{\text{НАДЛ. МАХ}}$ – верхня межа вимірювань надлишкового тиску, МПа (кг/ см²).

Обробка показників радіохвильових рівнемірів. Визначення відстані до водної поверхні здійснюється за допомогою радіолокаційного методу [17].

Сигнал надвисокої частоти з частотною модуляцією спрямовується у бік поверхні водного середовища. Після відбиття від водної поверхні він фіксується приймальною антеною. Відстань до поверхні продукту визначається пропорційно до різниці між частотою випромінюваного сигналу та частотою прийнятого, що дозволяє обчислити її за спеціальною формулою

$$L = S \cdot F \quad (2.17)$$

де L – дальність до поверхні води, м; F – далекомірна частота, Гц; S – коефіцієнт перерахунку, м/Гц.

Рівень вимірювань починається з мінімальної позначки 0,5 м від краю антени та досягає максимальної висоти 15 м від монтажного фланця. Мінімальний обсяг води у резервуарі визначається на рівні не менше 0,1 м від його дна. Таким чином, результат визначення дальності, який представлений у формі струмового сигналу, може бути розрахований за наступною формулою

$$L = 0,5 + 14,5 \cdot \frac{(I_{0,5} - I)}{(I_{0,5} - I_{15})} \quad (2.18)$$

де I – значення вихідного струму БТВИ2, мА; I_{15} і $I_{0,5}$ – значення струму, відповідні дальностям 15 м (4 мА) і 0,5 м (20 мА) вимірюваного діапазону.

Обробка показників вихрових витратомірів Обсяг пари, що протікає через витратомір, розраховується за допомогою формули, наведеної в джерелі [18]

$$Q_P = k_v \cdot Q_I \cdot \frac{d_P^2}{d_I^2} \quad (2.19)$$

де Q_P – об’ємна витрата пари, що проходить через витратомір; Q_I – об’ємна витрата пари, що проходить через вихровий зонд; d_P – діаметр трубопроводу, в якому встановлений витратомір; d_I – діаметр вихрового зонду; k_v – поправочний коефіцієнт.

Принцип дії для вимірювання витрати, що проходить через вихровий зонд, базується на використанні явища циклічного формування та відриву вихорів. Ці вихори виникають у процесі обтікання потоком середовища спеціального тіла вихроутворювача, який має форму призми і встановлений перпендикулярно до напрямку потоку. Частота появи вихорів реєструється за допомогою детекторів, які фіксують коливання тиску, спричинені утворенням вихорів, та перетворюють ці механічні пульсації в електричний сигнал для подальшої обробки.

Частота сигналу визначається геометричними параметрами вихроутворюючого елемента, розмірами трубопроводу та швидкістю потоку рідини чи газу. На основі отриманої частоти формується вихідний сигнал, який містить дані про величину об’ємної витрати речовини.

Обчислення витрати за реальних умов експлуатації, використовуючи величину вихідного струму витратоміра, здійснюється за допомогою відповідних математичних формул:

– для I5:

$$Q = \frac{I \cdot Q_{\max}}{5} \quad (2.20)$$

– для I20:

$$Q = \frac{(I - 4) \cdot Q_{\max}}{16} \quad (2.21)$$

де I – сила вихідного струму, мА; $Q_{\max}$ – значення максимальної витрати для даного типорозміру.

Цифрова фільтрація аналогових сигналів. Під час обробки параметрів доменної печі застосовується математичний вираз, що представляє собою стандартне рівняння запізнення першого порядку [8].

$$Y_n = Y_{n-1} + \left(\frac{\Delta t}{\Delta t + T_a} \right) \cdot (X_n - Y_{n-1}) \quad (2.22)$$

де Y_a – фільтр; Y_{n-1} – попередній вихід фільтра; Δt – час модифікації каналу; T_a – постійна часу фільтра; X_n – вхід, що не фільтрується.

Усі аналогові сигнали, які поступають у систему, проходять процес цифрової фільтрації безпосередньо в сенсорах, що входять до її складу. Для кожного каналу параметр фільтрації (T_a) налаштовується індивідуально під час конфігурації датчиків, забезпечуючи оптимальну обробку сигналів залежно від конкретних вимог.

Лінійне масштабування. Лінійне масштабування використовується для перетворення цифрового коду, отриманого в результаті зчитування даних із перетворювача сигналу, у фізичні величини, що описують параметри вимірюваного сигналу. Цей процес реалізується за допомогою математичної залежності, наведеної у формулі [8]:

$$\text{Signal} = \frac{\text{Data} - \text{LowEng}}{\text{HighEng} - \text{LowEng}} \cdot (\text{HighSignal} - \text{LowSignal}) + \text{LowEng} \quad (2.23)$$

де Signal – фізичні одиниці, що характеризують вимірюваний сигнал; Data – код, відповідний результату опитування; LowEng – мінімальне значення інженерних одиниць; HighEng – максимальне значення інженерних одиниць; HighSignal – максимальне значення фізичної одиниці, що характеризує вимірюваний сигнал; LowSignal – мінімальне значення фізичної одиниці, що характеризує вимірюваний сигнал.

2.2 Розробка алгоритму роботи АСК технологічних параметрів

У ході функціонування системи здійснюється регулярне опитування модулів, які відповідають за вимірювання аналогових сигналів. Під час цього процесу відбувається зчитування всієї необхідної інформації, її подальша обробка, а також формування даних, що передаються на верхній рівень керування [8].

Для кожного з отриманих сигналів здійснюється перевірка стану відповідного датчика. У разі виявлення несправності, наприклад, при відсутності зв'язку або наявності недостовірних значень, для відповідного показника встановлюється бітова ознака в логічний стан "1". Цей індикатор передається до системи верхнього рівня, яка використовує його для відображення інформації про некоректну роботу датчика.

Для кожного сигналу виконується перетворення коду, який відповідає результатам зчитування даних з перетворювача сигналу, у фізичні величини, що описують параметри вимірюваного сигналу.

На рис.2.2 представлено алгоритм, що демонструє порядок обробки температурних показників.

Обчислення температурних показників води на вході та виході охолоджувальних контурів доменної печі здійснюється за формулою, наведеною у рівнянні (2.1).

Обчислені температурні значення застосовуються для визначення різниці температур згідно з формулою (2.4). Під час цього процесу важливо враховувати, що одна вхідна температура холодильника може відповідати декільком вихідним показникам. При цьому кожен вихід ПУ має одну точку, на якій вимірюється температура води на вході.

На основі отриманих даних температур здійснюється розрахунок середніх значень температури за годину відповідно до формули (2.5).

Після цього виконується підготовка інформації для передачі на верхній рівень системи управління. Зібрані дані структуруються у масиви з оптимальною довжиною, що забезпечує ефективну передачу через мережу

Profibus-DP. Значення температури, усереднені за годину, надсилаються з інтервалом у 60 хвилин, тоді як решта інформації передається після завершення одного повного циклу роботи контролера.

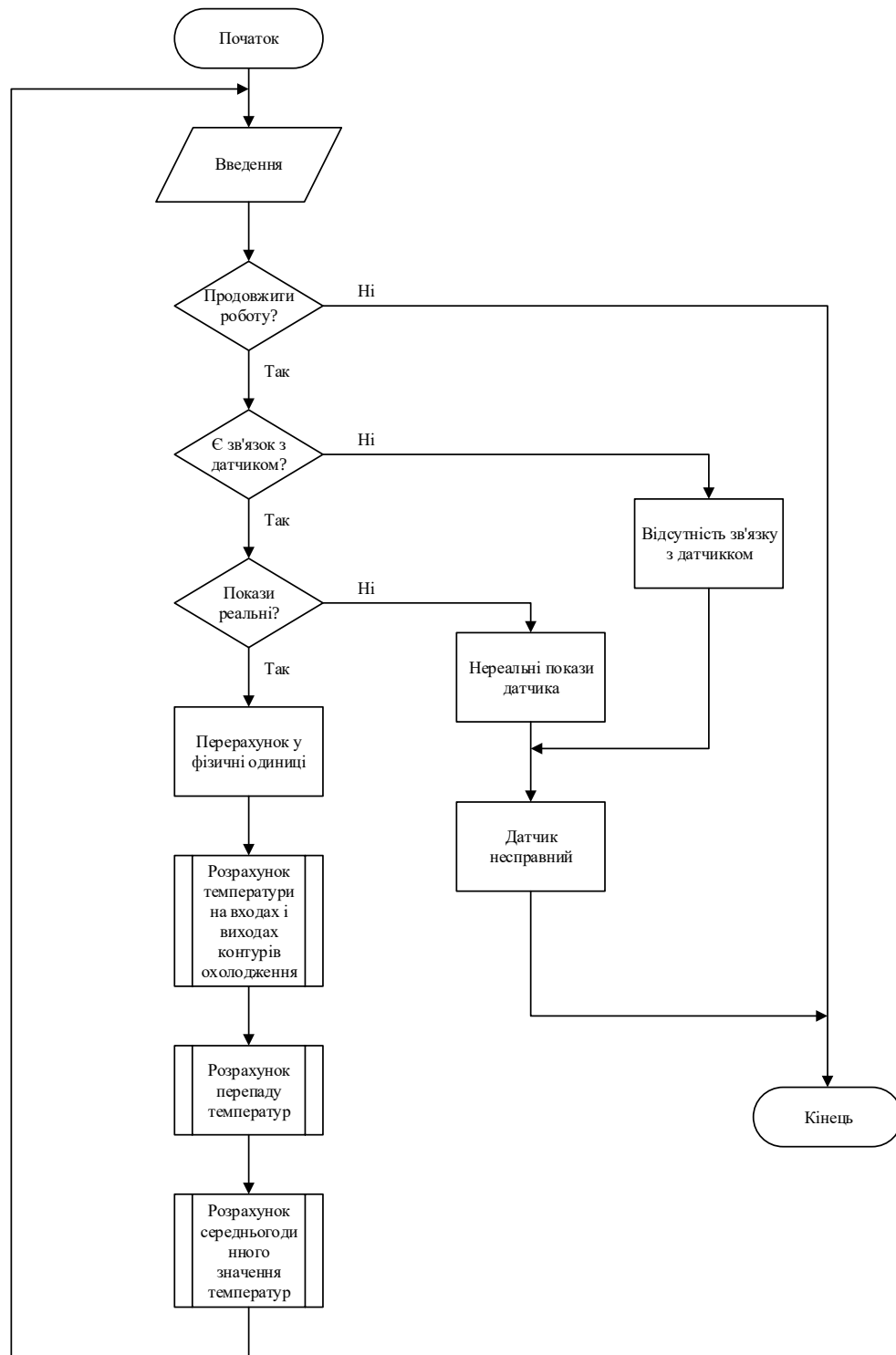


Рисунок 2.2 – Блок-схема обробки показників термометрів опору

За аналогічним принципом проводиться зчитування даних з вхідних модулів, які відповідають за вимірювання аналогових сигналів інших технологічних показників і величин, таких як тиск, витрата, парозбірник, рівень та інші параметри.

Нижче наведено перелік технологічних параметрів і величин, які вимірюються, контролюються та регулюються за допомогою апаратного забезпечення систем СВО та «Теплоконтроль» [5]:

1. Автоматичне управління рівнем води в барабані-сепараторі реалізується за допомогою радарного датчика, що забезпечує точний контроль. Діапазон регулювання становить ± 50 мм від стандартного рівня. Для моніторингу використовуються два радарні рівнеміри, які передають інформацію на комп'ютери, що відповідають за управління роботою печі. У разі досягнення критичних значень рівня води (+150 мм або -200 мм) активується світлова та звукова сигналізація. Якщо рівень продовжує змінюватися, система подає сигнал на активацію електрифікованих клапанів, які регулюють "пряме" живлення чи автоперелив. Стан клапанів, чи то "відкритий", чи "закритий", відображається за допомогою індикаторних ламп. Водночас дистанційне керування цими клапанами здійснюється через панель КВП та автоматики печі.

2. Контроль параметрів тиску та температури живильної води здійснюється за допомогою спеціальних датчиків, які передають дані на комп'ютерні системи, встановлені для управління роботою печі. У разі падіння тиску на будь-якому з водоводів активується світлова і звукова сигналізація.

3. Для моніторингу тиску в барабані-сепараторі використовується датчик, що забезпечує передачу показань на комп'ютерні монітори, інтегровані в систему керування печі.

4. Інформація про обсяг витрати води, що постачається на холодильники, відображається на дисплеях комп'ютерних пристроїв, пов'язаних із системою печі.

5. Температура поверхні холодильників вимірюється за допомогою термопар, які передають показники на комп'ютерні екрани. На основі змін цих температур оцінюється стан технологічного процесу в печі, а також контролюється процес розігріву кладки.

6. Безперервне вимірювання температури води, що знаходиться у напірних колекторах та виходить із холодильників, виконується із записом отриманих даних у пам'ять автоматизованої системи моніторингу. Величина різниці температур оперативно виводиться на монітори для подальшого аналізу.

3 Проектування системи контролю технологічних параметрів охолодження доменної печі

3.1 Обґрунтування вибору структури комплексу технічних засобів АСК технологічних параметрів охолодження ДП

Особливості функціональних завдань, що потребують вирішення, полягають у таких аспектах:

- застосування різноманітних алгоритмів управління, які мають різний рівень складності. Наприклад, це можуть бути алгоритми, що забезпечують вимірювання та контроль параметрів технологічного процесу, таких як температура, тиск, витрати, тощо, за допомогою пристроїв першого і другого рівнів;

- значний обсяг обробки вхідних сигналів, які представлені у вигляді аналогових даних, а також сигналів для дискретного вводу-виводу;

- збереження існуючих каналів зв'язку з датчиками (як аналоговими, так і дискретними) та виконавчими механізмами є обов'язковим;

- щоб відповідати вимогам, сформульованим у першому розділі, система автоматизованого контролю параметрів охолодження доменної печі повинна мати ієрархічну структуру [7, 9].

Верхній – диспетчерського керування;

Нижній – керування об'єктами;

Польовий – датчики технологічних параметрів, виконавчі механізми, пускачі.

Верхній рівень системи виконує функції, пов'язані з оперативно-диспетчерським управлінням і віддаленим моніторингом стану технологічного обладнання, яке належить до систем охолодження, таких як СВО і ЗСО. Цей рівень включає в себе робочі місця операторів, інженерні станції автоматизованої системи управління технологічними

процесами (АСУ ТП), а також центральну станцію, яка містить панель управління та центральний процесорний вузол (ЦПУ).

Операторські та інженерні станції, пульти управління, сервери й контролери з'єднані між собою за допомогою мережі Ethernet. До цієї мережі також інтегровані суміжні системи для забезпечення їх взаємодії. Живлення обладнання для обчислювальних процесів забезпечується через джерела безперебійного енергопостачання, що гарантує стабільну роботу навіть у разі перебоїв електропостачання.

Функціональні завдання, що реалізуються системою верхнього рівня, включають:

- забезпечення автоматизованої передачі команд від диспетчера до виконавчих механізмів із подальшим автоматичним контролем їх виконання;
- надання користувачам актуальної інформації у вигляді мнемосхем, графічних відображень змін контрольованих параметрів, а також журналів подій, таких як аварії чи інші значущі ситуації;
- впровадження захисту інформації шляхом організації системи паролів, що регулює доступ до даних відповідно до прав користувача;
- ведення обліку робочих годин та продуктивності основного й допоміжного обладнання.

Передбачається також реалізація таких можливостей:

- паралельне виконання розрахункових операцій одночасно з іншими функціями, такими як управління базами даних, створення звітів і постановка завдань;
- забезпечення централізованого управління списком контрольованих параметрів, що включає можливість створення глобальних змінних, доступних усім клієнтським модулям програмного забезпечення. При цьому програмний комплекс підтримує механізм резервування серверів та інші важливі функції.

Також заплановано реалізацію наступних можливостей:

На цьому рівні інтегровані механізми підключення до мережі, яка забезпечує взаємодію з нижнім рівнем автоматизованої системи керування (АСК) процесом охолодження доменної печі, а також із вищими рівнями диспетчерського управління. З'єднання здійснюється через локальну мережу, що забезпечує доступ до сервера ДЦ-1.

Базовий рівень відповідає за реалізацію алгоритмів, що забезпечують виконання технологічного процесу, включно з функціями аварійної сигналізації та системами захисту, які активуються при порушенні нормального стану обладнання. Окрім цього, він забезпечує інтеграцію з верхнім рівнем автоматизованої системи керування (АСК) процесом охолодження доменної печі. Доцільним рішенням є впровадження цього рівня на основі використання промислових програмованих логічних контролерів [7].

Традиційний підхід до проектування архітектури комплексу технічних засобів нижнього рівня (рівня управління об'єктами) АСК технологічними параметрами охолодження печі зазвичай передбачає централізовану організацію. У цьому випадку для всіх підсистем охолодження використовується одна загальна шафа управління, в якій розміщується вся необхідна пускова апаратура. На передній панелі такого обладнання зазвичай розташовуються основні елементи управління, такі як кнопки, перемикачі, а також засоби індикації. У разі складної логіки управління в шафу додається програмований логічний контролер (ПЛК). До єдиної шафи підключаються всі виконавчі механізми, датчики, кнопки аварійної зупинки та інші органи керування за допомогою кабелів. Проте цей метод має низку недоліків. Зокрема, для кожної системи охолодження необхідно створювати унікальну шафу великих розмірів, що потребує значного часу на проектування та комплектацію, і часто ці строки можуть перевищувати встановлені дедлайни. Іншою проблемою є перевантаженість кабельних

трас, що ускладнює монтаж і обслуговування, а також труднощі з розміщенням громіздкого обладнання у виробничому приміщенні.

Останнім часом все більшої популярності набуває підхід, який базується на використанні розподілених систем введення-виведення для вибору архітектури комплексу технічних засобів, призначених для реалізації нижнього рівня автоматизованих систем керування (АСК) охолодження доменної печі. У цьому випадку кожна функціональна група розподілених систем отримує окрему шафу керування, що забезпечує впорядкованість. У таких шафах встановлюють пускову апаратуру для конкретних приводів, розподілені станції введення-виведення та їх компоненти, серед яких сигнальні і комунікаційні модулі, блоки живлення, інтерфейсні пристрої. Ці елементи інтегруються з пристроями верхнього рівня через промислові мережі, наприклад, Industrial Ethernet. Програмований логічний контролер (ПЛК), який здійснює керування розподіленими станціями, зазвичай розташовується в окремій шафі. Використання такого підходу дає змогу досягти численних переваг, притаманних розподіленим системам. Зокрема, в кабельних каналах прокладаються тільки кабелі живлення та інформаційні магістралі, що знижує потребу у великій кількості громіздких проводів. Універсальні шафи керування можна легко адаптувати для виконання нових завдань, що забезпечує швидке впровадження модернізованих автоматизованих систем. Додатковою перевагою такої архітектури є висока стійкість до перешкод в інформаційних мережах, що гарантує надійність і стабільність роботи системи навіть у складних умовах експлуатації.

Отже, впровадження цього підходу в системах охолодження відкриває можливість отримання таких переваг:

- компактність – для кожної категорії розподілених станцій, залежно від їх функціонального призначення, передбачається встановлення індивідуальної шафи управління.

- максимальне наближення до об'єкта керування;
- економія кабельної продукції та металоконструкцій для кабельних трас;
- можливість об'єднання окремих секцій в злагоджену систему.

Отже, управління всіма елементами систем охолодження доменної печі доцільно організувати на основі єдиного програмованого логічного контролера (рис. 3.1). Цей пристрій виконуватиме роль центрального вузла, який координуватиме роботу розподілених станцій вводу-виводу. Останні виступатимуть як підлеглі модулі з різною функціональною спеціалізацією. У залежності від особливостей конкретної системи охолодження, будь-то випарна або замкнута система, вони здійснюватимуть моніторинг і контроль за технологічними параметрами, характерними для кожної з цих систем.

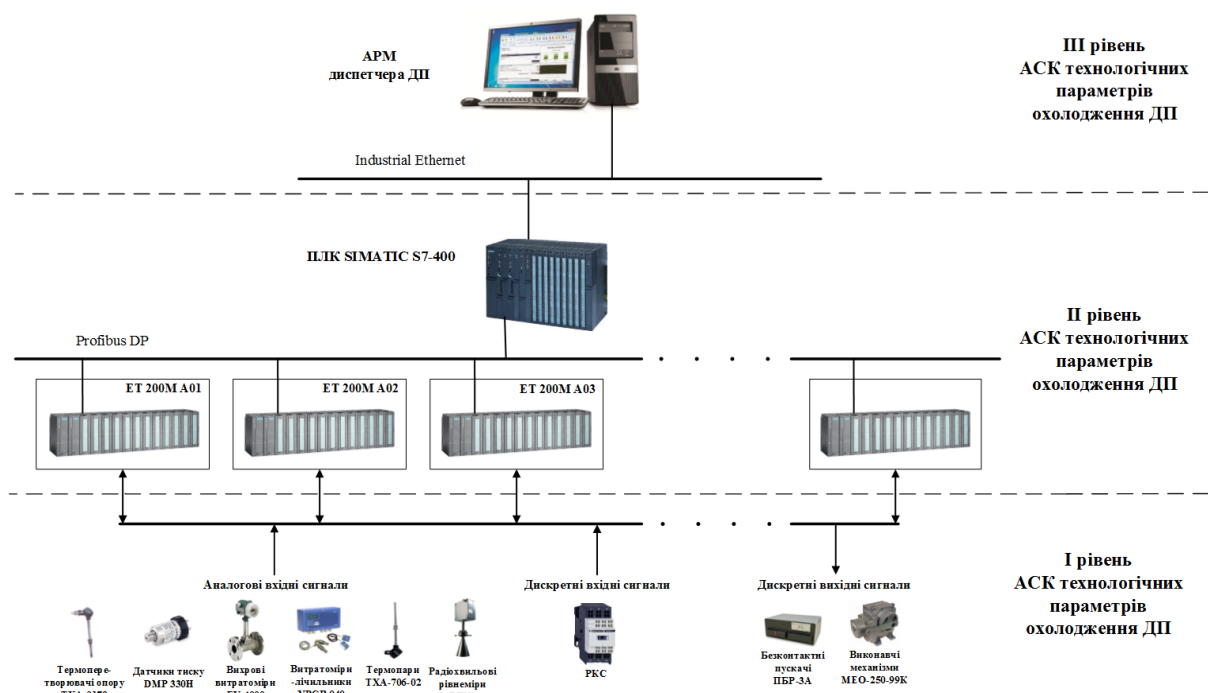


Рисунок 3.1 – Структура комплексу технічних засобів АСК охолодження ДП

На підставі проведеного аналізу кількості дискретних і аналогових сигналів, що надходять на вхід та вихід автоматизованої системи контролю (АСК) параметрів охолодження доменної печі, яка включає системи

водяного охолодження (СВО) і захисно-охолоджувальне обладнання (ЗСО), було визначено доцільність вибору програмованого логічного контролера (ПЛК) Siemens серії SIMATIC S7-400. Цей контролер забезпечує оптимальну продуктивність і відповідає вимогам надійності та гнучкості в управлінні технологічними процесами.

Програмований логічний контролер (ПЛК) виконуватиме завдання зі збору даних, їх обробки та передачі до системи вищого рівня, яка відповідає за оперативне диспетчерське управління.

Для організації розподілених робочих станцій вводу-виводу, які безпосередньо взаємодіятимуть із ПЛК, доцільно зупинити вибір на модульних розподілених станціях типу SIMATIC ET 200M. Це забезпечить стабільний зв'язок та ефективну інтеграцію всіх компонентів системи.

Усі робочі станції, які розподілені між різними ділянками, доцільно інтегрувати за допомогою промислової мережі типу Profibus DP. Для забезпечення зв'язку контролера SIMATIC S7-400 із системою верхнього рівня автоматизованого управління охолодженням доменної печі пропонується застосувати мережу Industrial Ethernet, що гарантує високу швидкість передачі даних і надійність взаємодії.

Польовий рівень системи представлений датчиками, які реєструють технологічні параметри, зокрема рівень води у батарейному сепараторі (БС), тиск живильної води в трубопроводах, тиск у батарейному сепараторі, параметри технічної води, температурні показники холодильних елементів, різницю температур води на вході та виході з холодильників, а також витрату води, що подається до холодильників. Крім того, цей рівень включає безконтактні пускачі та виконавчі механізми. Для приведення сигналів від датчиків у відповідність із стандартними вхідними діапазонами модулів контролера використовуються аналого-цифрові перетворювачі.

Для моніторингу обсягів споживання води, яка надходить до холодильника доменної печі, передбачено застосування витратомірів-лічильників типу «Взлет-МР».

Для визначення рівня води в баштових спорудах планується встановлення радарних датчиків рівня серії РДУ1.

Щоб інтегрувати аналогові сигнали, отримані від датчиків температури та тиску, до систем промислової автоматики, рекомендується використовувати перетворювачі сигналів моделі 3RS1706-1FE00 від виробника Siemens.

Для обліку об'ємів пари, що виділяється з установок СВО, пропонується застосування вихрових витратомірів марки ІРГА-РВ.

Контроль температури води в котлових установках буде забезпечено завдяки використанню термоперетворювачів опору моделі ТСМР-1291.

Вибір обладнання автоматизації першого рівня. Однооборотні електричні виконавчі механізми типу МЕО-250-99к застосовуються для переміщення регулюючих елементів у автоматизованих системах керування (АСК) параметрами охолодження доменних печей. Вони забезпечують виконання команд, які надходять від пристроїв автоматичного регулювання та управління. Механізми такого типу призначені для роботи з неповноповоротними елементами, такими як кульові та пробкові крани, поворотні заслінки й дискові затвори. Виконавчі механізми встановлюються безпосередньо біля регулюючих пристроїв та з'єднуються з ними за допомогою тяг і важільних конструкцій. Конструкція МЕО-250-99к передбачає можливість оснащення датчиками зворотного зв'язку (блоками сигналізації положення вихідного валу) для автоматизованих режимів роботи. У разі використання без таких датчиків механізми комплектуються блоками кінцевих вимикачів для

забезпечення ручного управління. Типи блоків сигналізації положення включають індуктивний БСПІ, реостатний БСПР та струмовий БСПС [10].

Основні технічні характеристики наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна х-ка виконавчих механізмів МЕО-250-99к

№ з/п	Параметр	Один. вим.	Значення
1	Номінальний обертальний момент на вихідному валу	N·m	250
2	Номінальний час повного ходу вихідного валу	S	25
3	Номінальний повний хід вихідного валу	г	0,25
4	Номінальна напруга живлення	B	220/380
5	Частота струму	Гц	50
6	Споживаюча потужність	Вт	250

Безконтактні пускачі. Керування виконавчими механізмами типу МЕО-250-99к може здійснюватися за допомогою контактних або безконтактних методів. Для реалізації безконтактного способу управління рекомендовано використовувати керуючі пристрої, наприклад, безконтактні пускачі моделі ПБР-3А [11].

Безконтактний реверсивний пускач типу ПБР-3А застосовується для управління механізмами серії МЕО-250-99к, які оснащені трифазними електродвигунами (як синхронними, так і асинхронними). Цей пускач виконує функції запуску та реверсування електродвигунів, а також має інтегрований механізм захисту від перевантажень. Пристрій забезпечує надійний пуск і зміну напрямку обертання трифазних асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором, водночас захищаючи їх від перевантаження. Детальні технічні характеристики пускачів моделі ПБР-3А подано у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічна характеристика безконтактного пускачів ПБР-3А

№ з/п	Параметр	Один. вим.	Значення
1	Напруга живлення трифазної мережі	В	380
2	Вхідний опір	Ом	750
3	Максимальний комутований струм	А	3
4	Споживаюча потужність	Вт	5
5	Частота змінного струму	Гц	50
6	Падіння напруги на силових ланцюгах пускача	В	не більше 10
7	Опір ізоляції	МОм	не менше 40

Витратоміри-лічильники.

Лічильники-витратоміри

використовуються для визначення середнього об'ємного потоку та загального об'єму рідин, включаючи реверсивні потоки. Вони ефективно працюють з різними типами рідин, зокрема гарячою, холодною, технічною водою тощо, у декількох трубопроводах під тиском. Пристрої адаптовані до різних умов експлуатації, зокрема можуть застосовуватися у середовищах з потенційним ризиком вибуху [12].

Ультразвуковий багатоканальний витратомір-лічильник УРСВ «Взлет-МР» моделей УРСВ-020 та УРСВ-040 є оптимальним вибором для інтеграції в автоматизовану систему контролю охолодження доменної печі, яка розробляється. Зокрема, цей пристрій може ефективно використовуватися в системі водяного охолодження (СВО) для точного вимірювання витрати води, що подається на всі холодильні елементи, які охолоджуються за допомогою СВО.

Технічна характеристики витратоміра наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. – Технічна х-ка витратомірів-лічильників УРСВ-020,-040

№ з/п	Найменування параметра	Один. вим.	Значення
1	Діаметр умовного проходу трубопроводу	мм	10 – 5000
2	Температура вимірюваної рідини	° С	від –30 до +160

3	Найбільший тиск в трубопроводі	МПа	2,5
4	Живлення витратоміра – однофазна мережа змінного струму	В	(31-41) / (187-242)
5	Споживаюча потужність (на канал)	Вт	5
6	Частота змінного струму	Гц	49-51

Термоперетворювачі опору. Для моніторингу температурного стану системи охолодження в периферійних областях металоприймача, зокрема в найтеплонапруженіших зонах горна, поду, а також у зонах чавунних льоток і на стиках між горном і подом, застосовують термоперетворювачі опору. Їх основне призначення полягає у визначенні різниці температур води, яка використовується для забезпечення охолодження доменної печі.

Заплановано впровадження датчиків типу ТСМР-1291 для вимірювання температури водяного потоку як на вході, так і на виході з холодильного контуру. Таке рішення дозволить забезпечити безпосередній контроль параметрів роботи системи охолодження [13].

ТСМР-1291 складається з двох однакових термоперетворювачів опору (ТО). Кожен із них змінює свій електричний опір залежно від температури середовища, в якому він знаходиться. Принцип роботи системи полягає у визначенні різниці температур, що здійснюється шляхом аналізу різниці електричних опорів двох термоперетворювачів.

У таблиці 3.4 представлено основні технічні параметри термоперетворювачів опору моделі ТСМР-1291.

Таблиця 3.4. – Технічна х-ка термоперетворювачів опору ТСМР-1291

№ з/п	Найменування параметра	Один. вим.	Значення
1	Робочий діапазон вимірюваних різниць температур	°С	від 0 до 25
2	Діапазон зміни температур	°С	від 0 до 100
3	Робочий діапазон одного ТО для вимірювання температури	°С	від 0 до 120
4	Значення опору ТО для температури 0 °С	Ом	500 ± 1,0
5	Номінальне значення відношення опору ТО для 100 °С (R ₁₀₀) до опору для 0 °С (R ₀)	W ₁₀₀	1,4260
6	Допустимі значення різниць опорів пари ТО в		

	температурному еквіваленті для однакових значень температур в усьому діапазоні зміни температур не перевищують	°C	0,25
7	Електричний опір ізоляції між колом чутливого елемента для температури від 15 °C до 35 °C і відносної вологості не більше 80 %.	МОм	100
8	Показник теплової інерції ТО не перевищує	с	20
9	Тиск в трубопроводі P_y не вище ніж	МПа	1,6

Термопари. Для забезпечення автоматичного контролю теплових навантажень на елементи охолоджувальної системи доменної печі планується встановлення спеціалізованих датчиків, таких як термопари, для вимірювання температури корпусу холодильників, а також температури води, що подається до холодильників і відводиться після них.

Для моніторингу температурного режиму в трубопроводах, що транспортують живильну воду до барабанів-сепараторів і холодильників печі в системі водяного охолодження (СВО), рекомендовано впровадження термопар моделі ТХА 0179. Ці датчики спеціально розроблені для визначення температури у хімічно нейтральних газоподібних або рідких середовищах, що забезпечує їх ефективне застосування в подібних умовах.

Для моніторингу температури корпусів холодильників і води чудово підходять термопари ТХА 0179, оскільки їхній широкий робочий діапазон дозволяє ефективно вимірювати температури в обох випадках. Така універсальність робить їх оптимальним вибором для цих завдань.

Температурний діапазон, у якому працює ТХА 0179, охоплює значення від 0 °C до 600 °C.

Пристрій генерує вихідний сигнал у межах від 0 до 15 В. Точність вимірювань забезпечується з похибкою, що не перевищує 0,5%.

Перетворювачі аналогових сигналів. Для передавання сигналів від датчиків до пристроїв обробки, таких як промислові логічні контролери, необхідно використовувати перетворювачі аналогових

сигналів. У контексті автоматизованої системи керування параметрами охолодження доменної печі раціональним вибором є універсальні багатодіапазонні перетворювачі моделі 3RS1706-1FE00 від компанії Siemens (табл.3.5). Ці пристрої вирізняються високим рівнем точності, відмінною лінійністю та забезпечують гальванічну ізоляцію сигналів між датчиками, виконавчими елементами та програмованими логічними контролерами, що сприяє підвищенню надійності системи.

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика перетворювача 3RS1706-1FE00

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Похибка перетворення при 23 °C	%	0,1
2	Нелінійність	%	0,02
3	Смуга пропускання	Гц	30
4	Час відгуку при стрибку рівня сигналу від 10 до 100 %	мс	10

Блоки живлення. Для забезпечення живлення первинних ланцюгів, датчиків і перетворювачів використовуються стабілізовані джерела електроживлення моделі 6EP1334-2AA00 з лінійки SITOP виробництва компанії Siemens. Ці пристрої спеціально розроблені для експлуатації в промислових умовах, що підтверджується даними, наведеними в табл.3.6.

Серед основних переваг цих блоків слід відзначити високу точність підтримання стабільного рівня вихідної напруги навіть за умов значних коливань вхідної напруги або раптових змін струму навантаження. Також вони характеризуються мінімальними пульсаціями вихідної напруги, ефективною системою захисту від перевантажень і коротких замикань у колах навантаження, наявністю гальванічного ізолювання між вхідними та вихідними колами, а також використанням природного охолодження [15].

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика блоків живлення 6EP1334-2AA00

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Діапазон вхідної напруги	В	187-264
2	Вихідна напруга	В	24
3	Діапазон встановлення	В	22,8–26,4
4	Вихідний струм	А	0–10
5	Залишкова пульсація (розмах), не більше	мВ	150
6	ККД, не менше	%	89
7	Можливість паралельного включення		Так
8	Діапазон робочих температур	°С	від 0 до +60
9	Маса	кг	0,78

Датчики тиску. Для моніторингу рівня тиску в трубопроводах, які забезпечують подачу живильної води до барабанів сепараторів у системі водяного охолодження, а також проточної технічної води, яка виконує функцію резервного охолодження і подається до печі під час перемикавання режимів охолодження холодильників від шахти до горна, застосовуються спеціалізовані датчики тиску. У даному випадку пропонується впровадження датчиків моделі DMP 330H [16], які відповідають вимогам надійності та точності для таких технологічних процесів.

Для моніторингу показників тиску пари в трубопроводах, які постачають пару до барабанів сепараторів СВО від холодильників шахти та системи розпару, також доцільно використовувати запропонований тип датчиків. Основні технічні параметри датчиків тиску моделі DMP 330H представлені у табл.3.7.

Таблиця 3.7 – Технічна характеристика датчиків тиску DMP 330H

Параметри	Значення
Діапазон вимірювання	0..100, 0..16000 кПа
Максимальне перевантаження	40 МПа
Напруга живлення	12...36 В (DC)
Вихідний сигнал	4...20 мА, 0...10 В
Температура вимірюваного середовища	-40...+200 °С

Температура навколишнього середовища	-40...85 °C
--------------------------------------	-------------

Для здійснення контролю тиску пари в барабанах-сепараторах рекомендується застосовувати датчики тиску серії МЭД 22365. Ці пристрої розроблені для безперервного вимірювання надлишкового тиску з подальшим перетворенням його в уніфікований вихідний сигнал змінного струму. Принцип дії датчиків базується на зміні взаємної індуктивності, яка виникає між первинними та вторинними ланцюгами диференційно-трансформаторного перетворювача. Значення взаємної індуктивності змінюється відповідно до показників вимірюваного тиску, що дозволяє забезпечити точний контроль параметрів.

У табл.3.8 представлено технічні параметри та характеристики датчиків тиску моделі МЭД 22364.

Таблиця 3.8 – Технічна характеристика датчиків тиску МЭД 22364

Параметри	Значення
Верхня межа виміру	0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 6,3; 10,0; 16,0 МПа
Робочий діапазон	0,06; 0,063; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 0,25; 0,4; 0,6; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 6,3; 10,0; 16,0 МПа
Частота змінного струму	50 (60) Гц
Споживаюча потужність	0,8 Вт
Температура НС	-40...+80 °C

Датчики рівня. Для моніторингу рівня води в барабанах-сепараторах застосовуються спеціалізовані датчики. Як альтернативу, пропонується використання радіохвильових датчиків типу РДУ1. Ці пристрої розроблені для постійного визначення рівня рідини в резервуарах, включаючи барабани-сепаратори, навіть за наявності внутрішніх конструктивних елементів. Рівнемір РДУ1 складається з основного датчика, який здійснює вимірювання відстані до поверхні води та передає відповідну інформацію, а також блоку БТВИ2. Цей блок виконує функцію живлення датчика та

обробки отриманих даних для формування вихідних інформаційних сигналів, забезпечуючи повну інтеграцію системи у технологічний процес [17].

Технічні характеристики рівнемірів РДУ1:

- діапазон вихідного токового сигналу 4... 20 мА;
- максимальний опір навантаження – 750 Ом;
- період змінної складової вихідної токового сигналу становить 1,6 мс;
- живлення рівнемірів забезпечується за допомогою зовнішнього стабілізованого джерела постійного струму, яке має гальванічну ізоляцію від силової частини системи. Напруга живлення становить +24 В з допустимим відхиленням у межах $\pm 10\%$.

Вихрові витратоміри. Для моніторингу виходу пари з барабанів-сепараторів доцільно обрати вихровий витратомір моделі ИРГА-РВ [18]. Цей тип приладу розроблено для виконання функцій вимірювання, трансформації, обробки та подання інформації щодо витрат і кількості постійних, плавно змінюваних потоків рідини або пари. Важливо, що робоче середовище не повинно бути агресивним до матеріалів, з яких виготовлені основні компоненти витратоміра, що контактують із потоком. Вихровий витратомір здійснює перетворення даних про об'ємні витрати в електричний сигнал, який може бути струмовим або частотним (зокрема, імпульсно-числовим). Технічні характеристики витратоміра ИРГА-РВ наведені в табл.3.9.

Таблиця 3.9 – Технічна х-ка вихрових витратомірів ИРГА-РВ

Параметри	Значення
Напруга живлення	187 – 248 В
Частота змінного струму	49 – 51 Гц
Вихідний сигнал	0-5 мА, 4-20мА
Температура вимірюючого середовища	від –55 до 200 °С
Температура навколишнього середовища	від –55 до 100

		°C
Похибки вимірювання витрати та об'єму пари	від $0,05Q_{\max}$ до $Q_{\max}$	$\pm 2,0 \%$
	від $Q_{\min}$ до $0,05Q_{\max}$	$\pm 2,5 \%$

Вибір та обґрунтування промислового контролера та модулів введення-виведення. Враховуючи технічні вимоги до обладнання для управління параметрами охолодження доменної печі, доцільно реалізувати другий рівень автоматизованої системи керування (АСК) охолодження на базі програмованого логічного контролера SIMATIC S7-400. Цей контролер слугуватиме основною станцією, а розподілені станції вводу-виводу SIMATIC ET 200М виконуватимуть роль робочих модулів. Зв'язок між SIMATIC S7-400 і обладнанням третього рівня, зокрема промисловими комп'ютерами, здійснюватиметься через мережу Industrial Ethernet, що забезпечить надійний обмін даними та інтеграцію апаратних засобів у загальну систему управління [19].

Серія ПЛК SIMATIC S7-400 відзначається низкою переваг, серед яких варто виділити значну обчислювальну продуктивність, виняткову стабільність роботи, а також:

- модульна конструкція;
- гнучкі можливості комунікації та розширення;
- робота з природним охолодженням;
- легкість створення розподілених систем управління;
- можливість використання декількох типів ЦП;
- можливість використання різноманітних модулів для прийому та передачі дискретних і аналогових сигналів у широкому діапазоні;
- високий ступінь електромагнітної сумісності;
- висока стійкість до ударних і вібраційних навантажень;
- відповідність всім вимогам промислових стандартів.

Контролер SIMATIC S7-400 вирізняється багатим вибором модулів, що дозволяє максимально пристосувати його до специфічних потреб поставленого завдання. Серед його ключових переваг – підтримка

«гарячої» заміни модулів без зупинки роботи, можливість розширення функціональності під час модернізації системи управління, а також висока продуктивність завдяки значному набору вбудованих функцій. Це забезпечує гнучкість і ефективність у різних виробничих умовах.

Контролер SIMATIC S7-400 підтримує технологію CiR, яка надає можливість модифікувати конфігурацію діючої системи керування без необхідності зупинки технологічного процесу.

Перед початком вибору модулів ПЛК для центральної станції та розподілених робочих вузлів ET 200M першочергово здійснюється підбір необхідних компонентів для розподілених станцій.

Для вибору дискретних вхідних модулів доцільно використовувати модулі типу SM321 16DI 24V DC. Ці пристрої мають у своєму складі по 16 каналів для прийому сигналів постійного струму, що забезпечує їх ефективну інтеграцію у систему автоматизації [21].

Для реалізації дискретних вихідних модулів доцільним вибором є модулі серії SM322 16DO 24 DC. Кожен із цих модулів оснащений шістнадцятьма вихідними каналами постійного струму з номінальною напругою 24 В [21]. Основною функцією модулів SM322 16DO 24 DC є трансформація внутрішніх логічних сигналів програмованого контролера у відповідні вихідні дискретні сигнали, що забезпечує ефективне управління системою.

Для використання в якості аналогових вхідних модулів доцільно зупинити вибір на моделях SM331 8AI RTD, SM331 8AI*16 та SM331 8AI TC. Необхідна кількість цих модулів повинна бути розрахована таким чином, щоб забезпечити обробку всіх наявних аналогових сигналів.

Для організації взаємодії з пристроями першого рівня, які експлуатуються в системі охолодження доменної печі, рекомендовано використати комунікаційні модулі CP 341. Зокрема, це стосується витратомірів-лічильників серії «Взлет-МР», що функціонують як системи

для вимірювання середньої об'ємної витрати технічної води. Ці витратоміри забезпечують передачу результатів вимірювань, діагностичних даних, а також довідкової та архівної інформації за допомогою токових сигналів або імпульсних послідовностей через інтерфейси RS-485. Вибір модулів CP 341 обґрунтований тим, що вони адаптовані для роботи з послідовним інтерфейсом RS-485, що робить їх оптимальними для інтеграції з витратомірами даного типу.

На підставі аналізу кількості сигналів, що надходять до автоматизованої системи контролю технологічних параметрів охолодження доменної печі, та їх обробки в межах обчислювальних можливостей процесорних модулів серії SIMATIC S7-400, доцільно вибрати центральний процесорний блок CPU 416-2 для основної станції. Даний модуль забезпечуватиме отримання, оброблення та управління сигналами, що надходять і передаються від робочих станцій ET 200M. CPU 416-2 здійснюватиме централізоване керування всіма підключеними робочими станціями через мережеві комунікації, реалізовані за протоколом PROFIBUS DP, використовуючи відповідні відгалужувачі для інтеграції в єдину мережу.

На підставі дослідження технічних характеристик процесорного модуля контролера SIMATIC S7-400 (основної станції) можна дійти висновку, що його обчислювальні можливості, швидкодія, обсяг пам'яті та підтримка максимальної кількості каналів введення-виведення відповідають встановленим вимогам. Це дозволяє застосовувати даний контролер для виконання завдань управління в автоматизованих системах контролю (АСК) технологічними параметрами процесу охолодження доменних печей на металургійних підприємствах. Застосування цього обладнання сприятиме підвищенню надійності та ефективності системи управління.

Наступним етапом є визначення оптимального комунікаційного модуля, що забезпечить зв'язок із апаратними засобами третього рівня, зокрема автоматизованими робочими місцями (АРМ) диспетчерів, а також персональними комп'ютерами через мережу Industrial Ethernet. За допомогою ПК здійснюється дистанційне управління технологічними параметрами охолодження доменної печі, що включає оптимізацію виробничих процесів, візуалізацію даних, діагностику стану обладнання та архівування отриманої інформації з нижчих рівнів системи автоматизації.

Отже, доцільним є застосування комунікаційного модуля CP 443-1, який забезпечує можливість інтеграції контролера SIMATIC S7-400 з мережею Industrial Ethernet. Це дозволяє встановити з'єднання між контролером SIMATIC S7-400 та персональним комп'ютером на третьому рівні системи автоматизації.

Отже, доцільним є застосування комунікаційного модуля CP 443-1, який забезпечує можливість інтеграції контролера SIMATIC S7-400 з мережею Industrial Ethernet. Це дозволяє встановити з'єднання між контролером SIMATIC S7-400 та персональним комп'ютером на третьому рівні системи автоматизації.

Вибір промислових мереж Для забезпечення взаємодії між розподіленими станціями вводу-виводу ET 200M і контролером SIMATIC S7-400 пропонується використовувати мережевий протокол Profibus DP. Цей протокол спеціально розроблений для організації високошвидкісного обміну даними в автоматизованих системах. Завдяки високій пропускну здатності, можливості передавати інформацію на значні відстані та розширеним функціям обробки даних, Profibus DP є одним із провідних рішень для створення ефективних мереж управління складними технологічними процесами та роботи з великими обсягами інформації [25].

Profibus DP – це мережевий протокол, що працює за принципом періодичного опитування підключених пристроїв. Головний вузол

(ведучий), яким виступає програмований логічний контролер SIMATIC S7-400, регулярно взаємодіє з кожним підлеглим пристроєм (відомим), таким як ET 200M. Такий підхід забезпечує безперервний моніторинг та контроль стану всіх компонентів мережі.

Profibus є одним із найбільш широко використовуваних мережевих стандартів у світі. Його модифікація DP повністю відповідає потребам більшості автоматизованих систем, включаючи промислові рішення SIMATIC, розроблені компанією Siemens. Це робить його універсальним вибором для забезпечення надійної та ефективної роботи систем автоматизації.

Протокол Profibus DP вирізняється швидкою реакцією та високим рівнем захисту від впливу зовнішніх електромагнітних перешкод. Він розроблений з акцентом на забезпечення високої швидкості передачі даних та економічності, що робить його ідеальним для застосування у системах з високою пропускну здатністю. Ця модифікація мережі створена спеціально для забезпечення ефективної взаємодії між автоматизованими системами керування та розподіленою периферією, що дозволяє успішно інтегрувати програмовані логічні контролери (ПЛК) із розподіленими станціями, оптимізуючи комунікацію та управління.

Для забезпечення взаємодії між системами верхнього рівня (третього рівня), такими як програмовані логічні контролери (ПЛК) і автоматизовані робочі місця диспетчерів (АРМ), а також для прямого обміну інформацією з іншими компонентами автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП) доменної печі, рекомендовано застосування промислової мережі Ethernet – Industrial Ethernet. Ця технологія спеціально адаптована для швидкісного обміну даними між ПЛК і системою людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ). Вибір на користь Industrial Ethernet зумовлений її здатністю забезпечувати сумісність з різними пристроями і засобами другого та третього рівнів, зокрема з

апаратними компонентами від компанії Siemens, які ідеально інтегруються в цю інфраструктуру.

- програмовані контролери SIMATIC S7;
- персональні та промислові комп'ютери;
- засоби візуалізації SIMATIC HMI;
- сертифіковані системи інших виробників.

Залежно від набору застосовуваних компонентів, мережі можуть будуватися у вигляді лінійної, зіркоподібної або кільцевої топології, використовуючи електричні чи оптичні канали зв'язку. В межах однієї мережі можливе комбінування різних типів каналів передачі даних, що дозволяє ефективно адаптувати її під специфічні потреби.

Мережі, що базуються на технології Industrial Ethernet, функціонують за принципом CSMA/CD, який передбачає довільний доступ до шини із вбудованим механізмом автоматичного виявлення колізій. Цей підхід дає можливість застосовувати різноманітні засоби передачі даних, серед яких:

- Канали передачі даних, що використовують електричні з'єднання, виконані на базі промислових кручених пар із подвійним шаром екранування для мінімізації перешкод.

- Оптиволоконні канали комунікації, побудовані на основі кабелів із пластикового та скляного волокна, що забезпечують високу пропускну здатність і захищеність від електромагнітного впливу.

4 Вибір та обґрунтування програмного забезпечення системи візуалізації, що розробляється

Для реалізації візуалізації процесу охолодження доменної печі на підприємстві ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» пропонується впровадження програмного забезпечення CitectSCADA. Це програмне рішення є комплексною системою моніторингу, управління та збору інформації (SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition). Завдяки використанню CitectSCADA можливо досягти наступних цілей:

- візуалізацію процесу в графічному режимі;
- управління алармами;
- відстеження трендів в реальному часі і доступ до архівних трендам;
- підготовку деталізованих звітів;
- статичний контроль процесу;

У рамках цієї дипломної роботи автоматизоване робоче місце (APM) оператора, розроблене на основі програмного забезпечення CitectSCADA, буде забезпечувати моніторинг і управління технологічними параметрами систем «Теплоконтроль» і СВО. Таким чином, використання зазначеного програмного забезпечення дозволяє реалізувати ефективну систему візуалізації процесів.

Розроблювана система візуалізації складатиметься з п'яти окремих вкладок (вікон), кожне з яких виконуватиме певну функцію. Перша вкладка буде зосереджена на відображенні процесу системи водяного охолодження (СВО). Друга та третя вкладки призначені для системи "Теплоконтроль": одна відображатиме дані про температуру котлової води, а інша – про температуру корпусу холодильників шахти доменної печі. Четверта вкладка у вигляді графіків покаже динамічні зміни аналогових параметрів обох систем у реальному часі. У п'ятій вкладці будуть

представлені всі збої та порушення в роботі системи у формі аварійних повідомлень (алармів), зафіксованих протягом її експлуатації.

4.1 Система візуалізації АРМ оператора

Розроблювана система візуалізації складатиметься з п'яти окремих вкладок (вікон), кожне з яких виконуватиме певну функцію. Перша вкладка буде зосереджена на відображенні процесу системи водяного охолодження (СВО). Друга та третя вкладки призначені для системи "Теплоконтроль": одна відображатиме дані про температуру котлової води, а інша – про температуру корпусу холодильників шахти доменної печі. Четверта вкладка у вигляді графіків покаже динамічні зміни аналогових параметрів обох систем у реальному часі. У п'ятій вкладці будуть представлені всі збої та порушення в роботі системи у формі аварійних повідомлень (алармів), зафіксованих протягом її експлуатації.

Вкладка «F1 головна сторінка». Цей розділ призначений для відображення роботи системи випарного охолодження в рамках технологічного процесу (рис. 4.1).

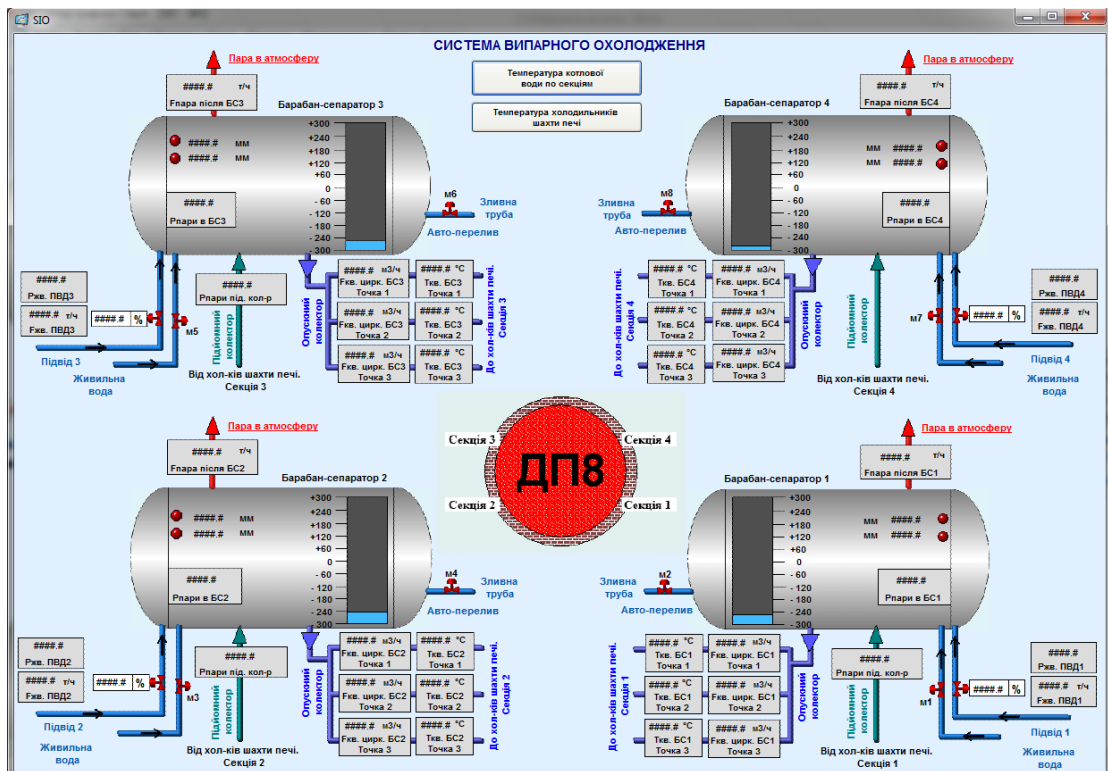


Рисунок 4.1 – Вкладка «F1 головна сторінка»

Вкладка «F2 температура КВ». Ця вкладка демонструє температурні показники кожного ряду калачів холодильників шахти доменної печі, згруповані за секціями (рис. 4.2).

TKV

Температура котлової води. 5-й ряд калачів холодильників шахти

Секція 3				Секція 4			
№Нетонок	№Нетонок	№Нетонок	Значення	№Нетонок	№Нетонок	№Нетонок	Значення
1 21В	5А2-1	####		1 31В	5А2-2	####	
2 21Н	5А3-1	####		2 31Н	5А3-2	####	
3 22В	5А4-1	####		3 32В	5А4-2	####	
4 22Н	5А5-1	####		4 32Н	5А5-2	####	
5 23В	5А6-1	####		5 33В	5А6-2	####	
6 23Н	5А7-1	####		6 33Н	5А7-2	####	
7 24В	5А8-1	####		7 34В	5А8-2	####	
8 24Н	5А9-1	####		8 34Н	5А9-2	####	
9 25В	5А10-1	####		9 35В	5А10-2	####	
10 25Н	5А11-1	####		10 35Н	5А11-2	####	
11 26В	5А12-1	####		11 36В	5А12-2	####	
12 26Н	5А13-1	####		12 36Н	5А13-2	####	
13 27В	5А14-1	####		13 37В	5А14-2	####	
14 27Н	5А15-1	####		14 37Н	5А15-2	####	
15 28В	5А16-1	####		15 38В	5А16-2	####	
16 28Н	5А17-1	####		16 38Н	5А17-2	####	
17 29В	5А18-1	####		17 39В	5А18-2	####	
18 29Н	5А19-1	####		18 39Н	5А19-2	####	
19 30В	5А20-1	####		19 40В	5А20-2	####	
20 30Н	5А21-1	####		20 40Н	5А21-2	####	

Секція 2				Секція 1			
№Нетонок	№Нетонок	№Нетонок	Значення	№Нетонок	№Нетонок	№Нетонок	Значення
1 11В	5А2-4	####		1 1В	5А2-3	####	
2 11Н	5А3-4	####		2 1Н	5А3-3	####	
3 12В	5А4-4	####		3 2В	5А4-3	####	
4 12Н	5А5-4	####		4 2Н	5А5-3	####	
5 13В	5А6-4	####		5 3В	5А6-3	####	
6 13Н	5А7-4	####		6 3Н	5А7-3	####	
7 14В	5А8-4	####		7 4В	5А8-3	####	
8 14Н	5А9-4	####		8 4Н	5А9-3	####	
9 15В	5А10-4	####		9 5В	5А10-3	####	
10 15Н	5А11-4	####		10 5Н	5А11-3	####	
11 16В	5А12-4	####		11 6В	5А12-3	####	
12 16Н	5А13-4	####		12 6Н	5А13-3	####	
13 17В	5А14-4	####		13 7В	5А14-3	####	
14 17Н	5А15-4	####		14 7Н	5А15-3	####	
15 18В	5А16-4	####		15 8В	5А16-3	####	
16 18Н	5А17-4	####		16 8Н	5А17-3	####	
17 19В	5А18-4	####		17 9В	5А18-3	####	
18 19Н	5А19-4	####		18 9Н	5А19-3	####	
19 20В	5А20-4	####		19 10В	5А20-3	####	
20 20Н	5А21-4	####		20 10Н	5А21-3	####	

F1 Головна сторінка

Рисунок 4.2 – Вкладка «F2 температура КВ»

Вкладка «F3 температура холодильників» Ця вкладка надає інформацію про температуру кожного окремого холодильника, розташованого в різних рядах шахти печі, згруповану за секціями (рис. 4.3).



Температура тіла холодильників. 1-й ряд шахти печі

№ Неточок	№ Непозицій	Значення
1	1A2-1	####
2	1A3-1	####
3	1A4-1	####
4	1A5-1	####
5	1A6-1	####
6	1A7-1	####
7	1A8-1	####
8	1A9-1	####
9	1A10-1	####
10	1A1-2	####

№ Неточок	№ Непозицій	Значення
1	1A2-2	####
2	1A3-2	####
3	1A4-2	####
4	1A5-2	####
5	1A6-2	####
6	1A7-2	####
7	1A8-2	####
8	1A9-2	####
9	1A10-2	####
10	1A1-3	####

№ Неточок	№ Непозицій	Значення
1	1A2-4	####
2	1A3-4	####
3	1A4-4	####
4	1A5-4	####
5	1A6-4	####
6	1A7-4	####
7	1A8-4	####
8	1A9-4	####
9	1A10-4	####
10	1A1-1	####

№ Неточок	№ Непозицій	Значення
1	1A2-3	####
2	1A3-3	####
3	1A4-3	####
4	1A5-3	####
5	1A6-3	####
6	1A7-3	####
7	1A8-3	####
8	1A9-3	####
9	1A10-3	####
10	1A1-4	####

F1 Головна сторінка

Рисунок 4.3 – Вкладка «F3 температура холодильників»

Вкладка «F4 покази трендів». Ця вкладка надає інформацію про температуру кожного окремого холодильника, розташованого в різних рядах шахти печі, згруповану за секціями (рис. 4.3).

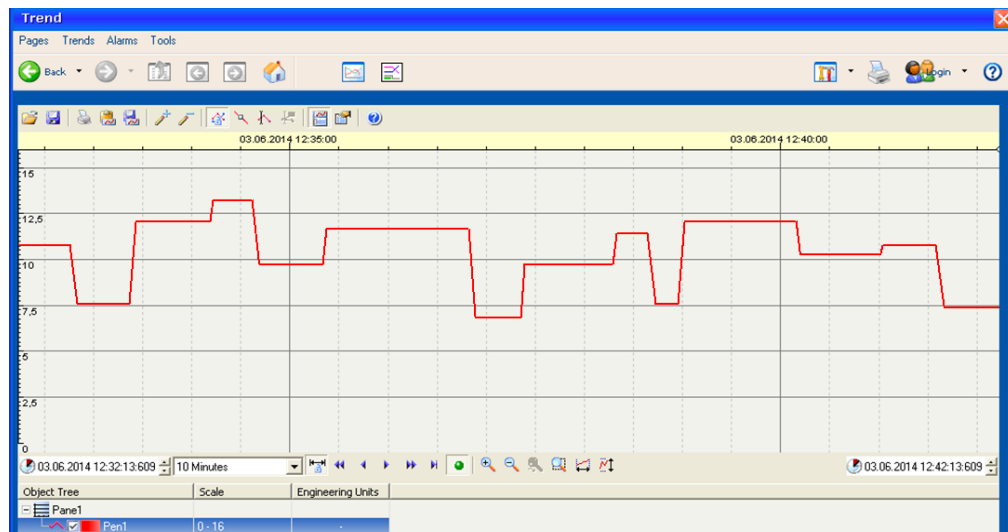


Рисунок 4.4 – Вкладка «F4 покази трендів»

Вкладка «F5 аварійні уставки». Ця вкладка призначена для відображення порушень і збоїв у функціонуванні системи у формі повідомлень про тривоги (аларми), що фіксуються протягом усього періоду її експлуатації (рис. 4.5).

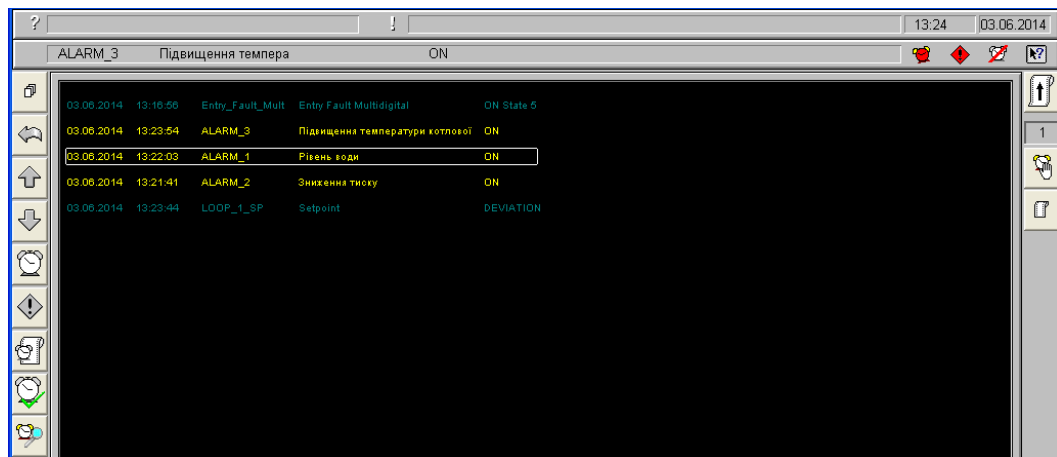


Рисунок 4.5 – Вкладка «F5 аварійні уставки»

3.3 Опис структури розробленої системи візуалізації технологічного процесу

Розділ «F1 Головна сторінка» слугує основним інтерфейсом системи випарного охолодження. Тут оператор здійснює моніторинг технологічного процесу охолодження шахти печі, керує його параметрами та стежить за дотриманням необхідних умов роботи. Система функціонує здебільшого в автоматичному режимі. У разі виникнення несправностей або збоїв у роботі СВО оператор переходить на дистанційний режим керування, щоб забезпечити безперервність та надійність технологічного процесу.

У цьому розділі представлено всі технологічні показники, які знаходяться під контролем системи та надходять від пристроїв першого рівня. Також показані виконавчі механізми, такі як запірні арматура і вентилі, а також обладнання, що включає барабани-сепаратори і засоби комунікаційної інфраструктури.

Система випарного охолодження шахти доменної печі складається з чотирьох окремих секцій. Кожна секція функціонує як автономна установка для забезпечення випарного охолодження. У центрі мнемосхеми

розміщено статичний зображення доменної печі (рис.4.6), яке умовно ілюструє, як розподілено охолодження шахти між цими чотирма секціями.



Рисунок 4.6 – Розподілення охолодження шахти печі по 4 секціям

Кожна секція системи водяного охолодження (СВО) містить у своєму складі барабан-сепаратор, як це зображено на рис.4.7. На мнемосхемі барабани-сепаратори представлені у вигляді статичних графічних елементів, що виконують роль візуальних об'єктів схеми.

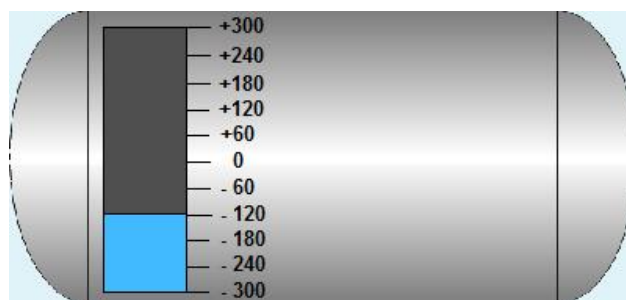


Рисунок 4.7 – Зображення БС з водовказівною колонкою

На схемі зображені водовказівні колонки, які відображають зміни рівня води. Ці елементи на мнемосхемі виконують роль динамічних індикаторів. У ході функціонування системи вони наочно демонструють поточний стан рівня води в БС. Підняття або опускання води відображається за допомогою блакитного кольору. Шкала, розташована на водовказівних колонках, відображає параметри нормального або критичного рівня води в резервуарі в межах діапазону від -300 до $+300$ мм.

Щоб забезпечити відображення стану рівня води в барабанному сепараторі (БС) на мнемосхемі за допомогою водовказівних колонок, їх індикація змінюється залежно від підвищеного чи зниженого рівня води,

переміщуючись вгору або вниз. Для реалізації цього процесу до кожної водовказівної колонки прив'язані відповідні змінні (теги), які представляють собою вхідні аналогові сигнали, що надходять із системи контролю.

На мнемосхемі показано комунікаційне обладнання кожної секції у вигляді трубопроводів і колекторів, які виконують різні функції залежно від їхнього призначення та підключені до базової станції (рис.4.8).

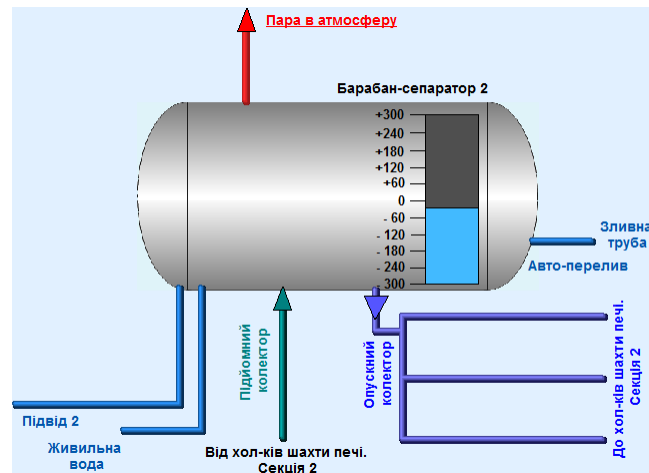


Рисунок 4.8 – Зображення на мнемосхемі комунікаційного устаткування
БС

Трубопроводи та колектори, що відповідають кожному барабану-сепаратору й представлені на мнемосхемі, виконують роль статичних компонентів. Вони слугують виключно для відображення свого функціонального призначення в системі водообігу (СВО), зокрема:

- Підвідні трубопроводи (на мнемосхемі позначені світло-блакитним кольором), які забезпечують подачу живильної води до барабанів-сепараторів.

- Опускні колектори (позначені темно-синім кольором на мнемосхемі), які ілюструють подачу котлової води до холодильників шахти.

- Підйомні колектори (на схемі відображені зеленим кольором), що відображають транспортування пароводяної суміші від холодильників шахти до барабанів-сепараторів.

– Вихлопні труби (на мнемосхемі позначені червоним кольором), які демонструють випуск пари з барабанів-сепараторів в атмосферу.

– Зливні трубопроводи (на схемі умовно позначені блакитним кольором), що відображають процес зливу води з барабанів-сепараторів при перевищенні допустимого рівня.

Кожен модуль системи водяного охолодження включає виконавчі механізми. На мнемосхемі такі механізми представлені у вигляді запірних елементів і прохідних регулюючих клапанів, які виконують функцію управління потоками води.

Керування подачею води до підводів на блочні станції здійснюється через регулювальні клапани, які забезпечують контроль прохідності. Поруч із цими клапанами на прямокутних піктограмах графічно відображається рівень відкриття вентилів у відсотковому значенні (рис.4.10). На мнемосхемі ці елементи позначаються як Valve, що відповідає конкретній трубопровідній арматурі, призначеній для регулювання потоку рідини.

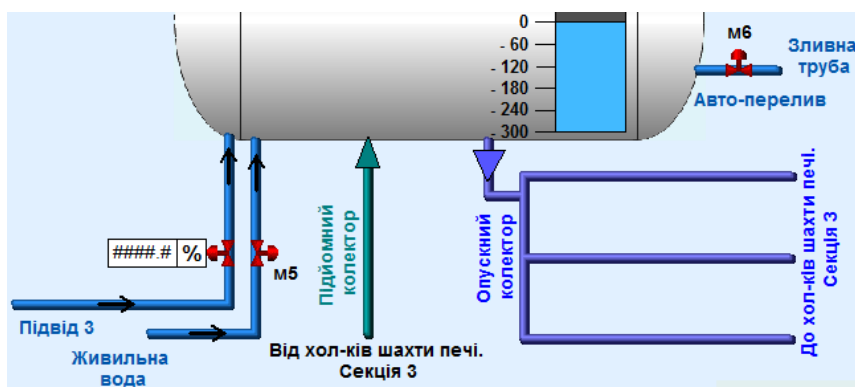


Рисунок 4.9 – Регулюючий прохідний клапан на підводі до БС з відсотковим показником

Процес відкривання та закривання вентилів, розташованих на підвідних трубопроводах до барабанів-сепараторів, а також вентилів для зливу від цих барабанів, здійснюється за допомогою запірної арматури. На мнемосхемі ця арматура, так само як і згаданий вище регулюючий клапан,

позначена елементом Valve і має підписи з номерами m1–m8 (деталі наведено на рис.4.9).

На мнемосхемі стан запірної арматури, тобто її відкритий або закритий вентиль, позначається спеціальними кольоровими індикаторами. Якщо арматура відображається зеленим кольором, це свідчить про відкритий вентиль, тоді як червоний колір указує на те, що вентиль перебуває у закритому стані (рис. 4.11).

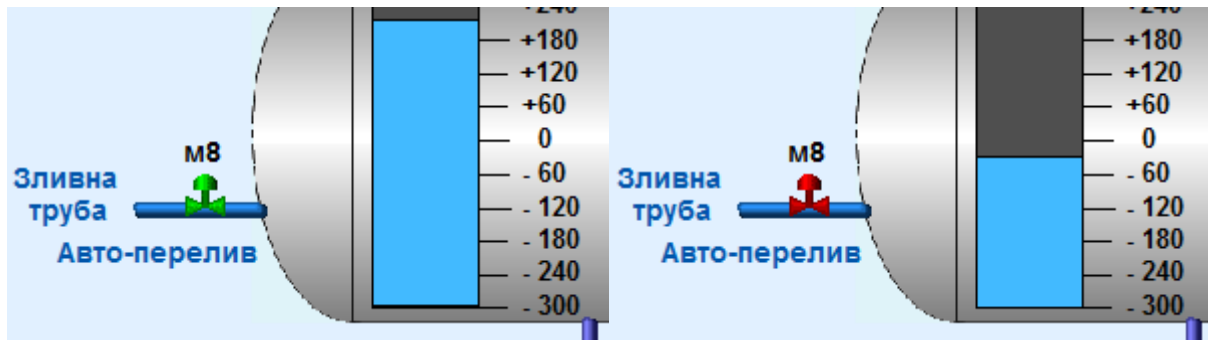


Рисунок 4.11 – Відображення на мнемосхемі відкритого та закритого вентилів запірних арматур

Для наочного відображення стану вентилів, що перебувають у відкритому або закритому положенні, здійснюється прив'язка тегів (рис. 4.12), які являють собою вхідні дискретні сигнали. У цьому випадку стан закритого вентилів позначається значенням «0», тоді як для відкритого вентилів встановлюється значення «1».

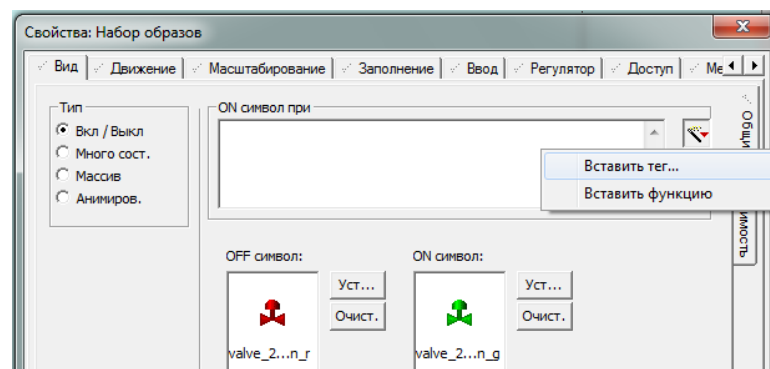


Рисунок 4.12 – Прив'язування тегів для візуалізації відкритого та закритого стану запірних арматур

Технологічні параметри СВО. Відстеження технологічних параметрів кожної окремої секції системи водяного охолодження шахти печі забезпечується завдяки прийому вхідних аналогових сигналів від первинного обладнання. Отримані дані передаються на автоматизоване робоче місце оператора, де вони відображаються для подальшого аналізу та контролю.

Для відображення показників технологічних параметрів системи водяного охолодження (СВО) доменної печі на мнемосхемі використовується набір прямокутних піктограм із числовими значеннями, які демонструють поточні дані. Ці параметри передаються в реальному часі та відображаються на автоматизованому робочому місці (АРМ) оператора. На мнемосхемі кожен елемент СВО супроводжується відповідними піктограмами, які розташовані поруч і містять інформацію про контрольовані для цього елемента технологічні показники.

Формат представлення аналогових змінних на піктограмах мнемосхеми заданий як «#####.##». Це означає, що значення відображається в десятковій системі числення з точністю до двох цифр після десяткової крапки.

На трубопроводах, які підводять воду до барабанів-сепараторів кожної окремої секції, проводяться вимірювання та контроль показників тиску (кгс/см^2) і витрати живильної води (т/год). На мнемосхемі, представлений на рис.4.13, ці параметри відображаються за допомогою прямокутних піктограм сірого кольору, у яких подано числові значення та відповідні позначення: Ржв — тиск живильної води, Гжв — її витрата.

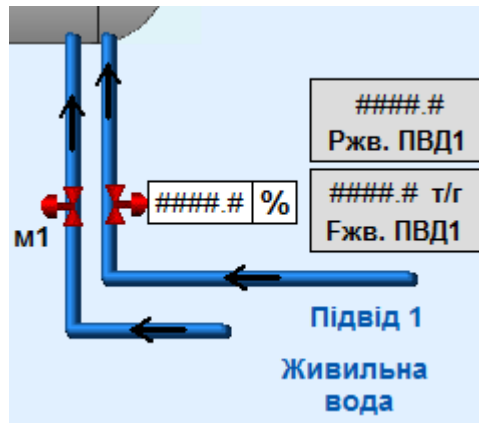


Рисунок 4.13 – Відображення на мнемосхемі параметрів тиску та витрати живильної води на числових піктограмах

На спускних колекторах, які забезпечують подачу котлової води з барабанів-сепараторів до холодильних елементів шахти печі, здійснюється вимірювання та моніторинг витрати рідини ($\text{м}^3/\text{год}$) і температури ($^{\circ}\text{C}$). Ці параметри контролюються в трьох точках на кожному з колекторів. На мнемосхемі (рис. 4.14) зазначені характеристики виводяться у вигляді піктограм із цифровими індикаторами, що відображають дані в режимі реального часу.

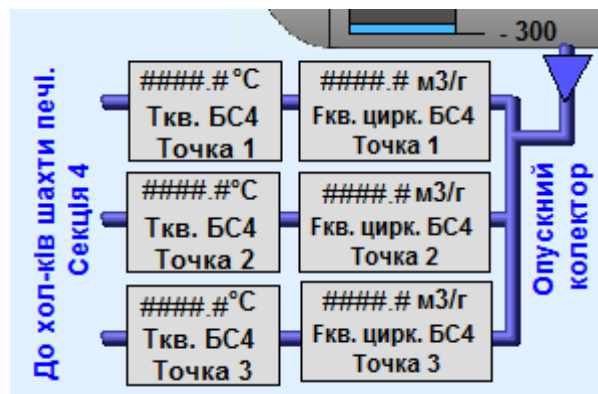


Рисунок 4.14 – Відображення на мнемосхемі значень витрати та температури котлової води на кожному опускному колекторі

У підйомних колекторах, через які пароводяна суміш повертається з холодильників до барабанів-сепараторів, виконується вимірювання показників тиску цієї суміші, що виражаються в $\text{кгс}/\text{см}^2$. На мнемосхемі, аналогічно до інших параметрів, актуальне значення тиску пари

відображається у вигляді прямокутних піктограм із цифровими індикаторами, які демонструють його значення (рис. 4.15).

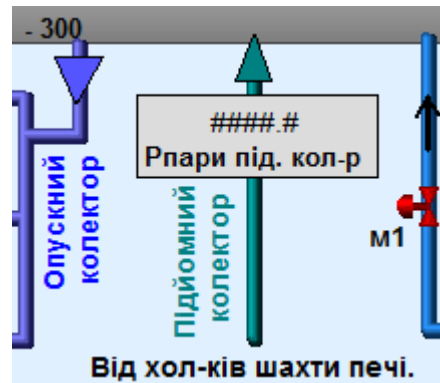


Рисунок 4.15 – Візуалізація на мнемосхемі значення тиску пароводяної суміші в підйомних колекторах

Для відображення контролю показників виходу пари з вихлопних труб барабанів-сепараторів, що входять до системи випарного охолодження, на графічних піктограмах із числовими індикаторами в режимі реального часу візуалізуються дані про кількість пари в тоннах на годину (рис. 4.16).

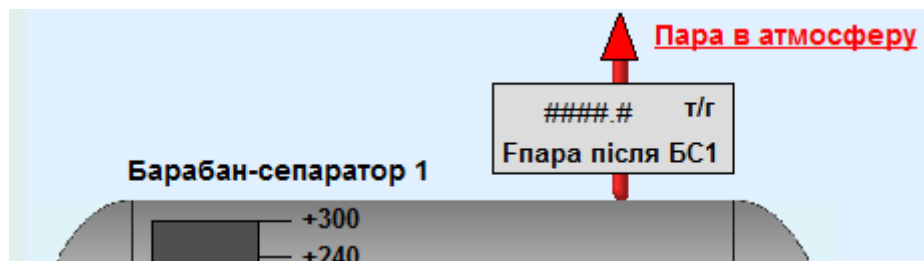


Рисунок 4.16 – Візуалізація на мнемосхемі значення виходу пари з барабанів-сепараторів

Для відображення поточного рівня тиску пари (кгс/см^2) у барабанах-сепараторах на мнемосхемі, використовуються піктограми, що містять числові індикатори. Ці індикатори демонструють виміряні значення відповідного параметра, як показано на рис.4.17.

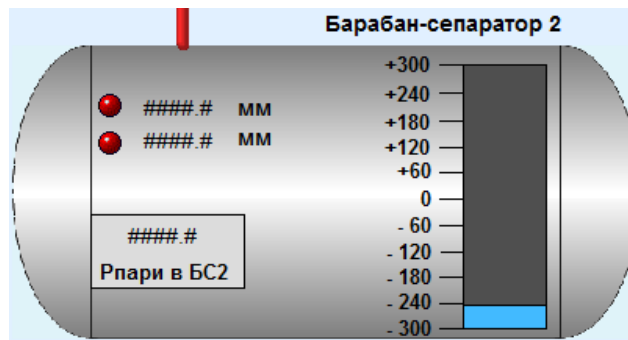


Рисунок 4.17 – Графічне відображення контрольного показника тиску пари в барабанному сепараторі (БС) у вигляді піктограми, доповненої числовим значенням цього параметра.

Для відображення рівня води в барабанах-сепараторах на мнемосхемі передбачено використання числових значень, які доповнюють інформацію, що надають водовказівні колонки. Окрім цього, дані параметри візуалізуються безпосередньо на барабанах-сепараторах (рис. 4.17) за допомогою світлових індикаторів, які сигналізують про стан роботи датчиків. Якщо індикатор світиться червоним, це означає, що датчик несправний або відключений. Зелений колір індикатора підтверджує справність датчика та наявність стабільного зв'язку з ним.

Стан роботи датчиків рівня відображається у формі світлових індикаторів, що реалізується через прив'язку відповідних тегів (рис. 4.18). Ці теги являють собою входні дискретні сигнали, які співвідносяться з інформацією, отриманою від відповідних індикаторів.

У разі справності датчиків система відображає значення "1", яке супроводжується зеленим кольором індикатора. Якщо ж датчики вийшли з ладу або з ними втрачено з'єднання, система показує значення "0", що позначається червоним кольором індикатора.

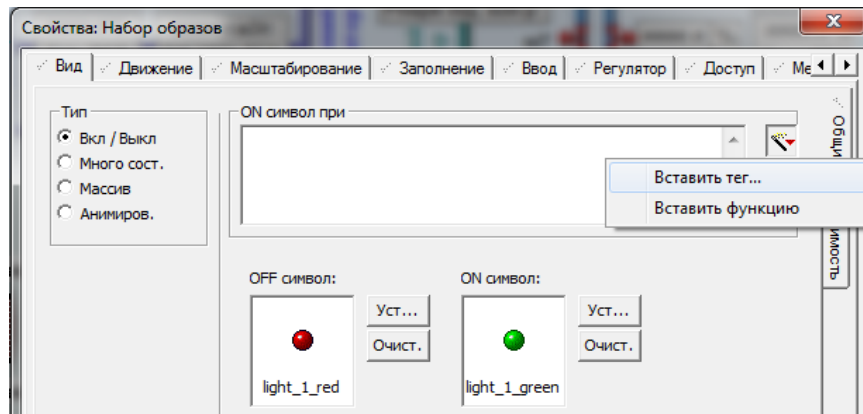


Рисунок 3.18 – Розробка механізму прив’язки тегів для відображення інформації про функціональний стан датчиків рівня, який реалізується у формі світлових сигналів індикаторів.

Перехід між різними вкладками здійснюється за допомогою натискання лівою кнопкою миші на відповідні функціональні клавіші, такі як F1, F2, F3, F4 та F5.

Вкладка «F2 температура КВ». У цій вкладці, що оформлена у вигляді чотирьох таблиць, кожна з яких відповідає окремій секції, оператор здійснює моніторинг температурних показників котлової води (КВ). Зокрема, оператор контролює параметри температури води як на вході, так і на виході з холодильників, розташованих у шахті печі, для кожної секції окремо.

Кожна таблиця містить три колонки (рис. 4.19). У перших двох колонках вказуються у послідовному порядку точки та позиції холодильників, з яких здійснюється зчитування температурних показників. Третя колонка, під назвою «Значення», поділена на два підрозділи. У першому відображаються числові дані про температуру котлової води для кожної точки вимірювання. У другому представлені динамічні температурні шкали, які автоматично змінюються відповідно до отриманих числових значень, забезпечуючи наочність і зручність аналізу.

Температурні показники кожної вимірюваної точки контрольного вузла відображаються миттєво, забезпечуючи постійний моніторинг у режимі реального часу.

Секція 4				
№	Точок	№	Позицій	Значення
1	31В	5А2-2	####.#	
2	31Н	5А3-2	####.#	
3	32В	5А4-2	####.#	
4	32Н	5А5-2	####.#	
5	33В	5А6-2	####.#	
6	33Н	5А7-2	####.#	
7	34В	5А8-2	####.#	
8	34Н	5А9-2	####.#	
9	35В	5А10-2	####.#	
10	35Н	5А11-2	####.#	
11	36В	5А12-2	####.#	
12	36Н	5А13-2	####.#	
13	37В	5А14-2	####.#	
14	37Н	5А15-2	####.#	
15	38В	5А16-2	####.#	
16	38Н	5А17-2	####.#	
17	39В	5А18-2	####.#	
18	39Н	5А19-2	####.#	
19	40В	5А20-2	####.#	
20	40Н	5А1-3	####.#	

Рисунок 4.19 – Загальний вигляд таблиць показів температури котлової води

Для відображення даних у кожній таблиці цієї мнемосхеми, що стосується температури кожного холодильника, здійснюється прив'язка аналогових величин (тегів) до відповідних температурних параметрів. Це забезпечує представлення значень як у числовому форматі, так і в анімаційній формі. Приклад присвоєння тегів, які використовуються для відображення числових значень температури КВ у таблицях, наведено на рис.4.20.

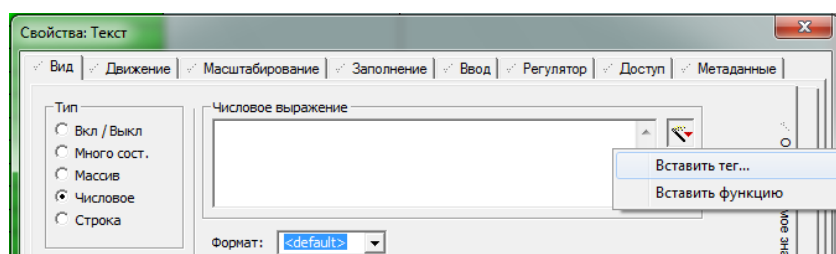


Рисунок 4.20 – Прив'язування тегів для відображення значень температури КВ в числових виразах

Для реалізації анімаційного відображення показників температури котлової води у системі «Теплоконтроль» передбачено використання шкали, яка змінюється залежно від температурних значень у діапазоні 0-130 °С. У разі підвищення температури шкала рухається вправо, а при її зниженні – вліво. Для кожного параметра температури котлової води здійснюється закріплення відповідних тегів, що забезпечує коректне відображення інформації (рис. 4.21).

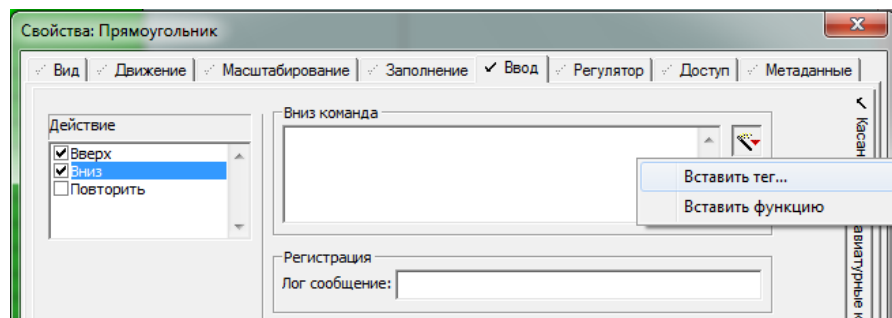


Рисунок 4.21 – Прив’язування тегів для відображення значень температури КВ у вигляді анімаційної температурної шкали

Отже, зелений індикатор (рис. 4.22), який виконує функцію температурної шкали у кожній таблиці мнемосхеми, буде адаптивно змінюватися залежно від актуальних значень температури котлової води.

Секція 1				
№	Точок	№	Позицій	Значення
1	1В	5А2-3		119.13
2	1Н	5А3-3		113.83
3	2В	5А4-3		99.75

Рисунок 4.22 – Покази температури КВ

Зміна вкладок здійснюється шляхом повернення до основного екрана за допомогою натискання кнопки «F1 головна сторінка», після чого через цей екран користувач має змогу переходити до інших вкладок.

Вкладка «F3 температура холодильників». У цій вкладці, що оформлена у вигляді чотирьох окремих таблиць, кожна з них відповідає конкретній секції та містить відповідні дані.

Оператор здійснює моніторинг та контроль показників температури корпусів холодильників у кожній секції окремого холодильника доменної шахти. Для відображення даних використовується таблиця, що містить три основні стовпці (рис. 4.23). Перший і другий стовпці включають в себе впорядковані списки точок і позицій холодильників, з яких здійснюється фіксація температурних показників. Третій стовпець під назвою «Значення» поділений на два підрозділи: у першому відображаються числові дані температури кожної контрольної точки, а у другому представлена анімаційна шкала температури, що динамічно змінюється відповідно до цих числових значень.

Значення температури тіла холодильників у кожній з вимірювальних точок відображаються без затримки, в реальному часі, забезпечуючи оперативний моніторинг даних.

Секція 4			
№Точки	№Позиції	Значення	
1	1A2-2	####.#	
2	1A3-2	####.#	
3	1A4-2	####.#	
4	1A5-2	####.#	
5	1A6-2	####.#	
6	1A7-2	####.#	
7	1A8-2	####.#	
8	1A9-2	####.#	
9	1A10-2	####.#	
10	1A1-3	####.#	

Рисунок 4.22 – Загальний вигляд таблиць показів температури тіла холодильників

Для реалізації візуалізації кожного значення температури корпусу холодильника на мнемосхемі використовуються як числові, так і анімаційні способи відображення. Для цього до кожного температурного параметра здійснюється призначення відповідних аналогових величин (тегів). Процес присвоєння тегів для числового відображення значень температури в таблицях виконується за аналогічним принципом, який був застосований під час роботи з параметрами котлової води (рис. 4.20).

Для відображення температури тіла холодильників в анімаційній формі використовується температурна шкала, яка динамічно змінюється залежно від поточного значення. Діапазон температур становить від 0 до 600 °С, при цьому зміна температури відображається рухом шкали: зростання значення супроводжується зміщенням вправо, а зниження — вліво. Для реалізації цієї функції кожному параметру температури тіла холодильників присвоюються відповідні теги, аналогічно до способу, описаного раніше (рис. 4.21).

Отже, помаранчевий індикатор (рис. 4.23), який виконує функцію шкали температур, у кожному рядку таблиць мнемосхеми динамічно змінюватиме своє положення залежно від температурних параметрів охолоджуваних елементів.

Секція 4			
№№точок	№№позицій	Значення	
1	1A2-2	503.47	
2	1A3-2	459.88	
3	1A4-2	423.91	

Рисунок.23 – Покази температури тіла холодильників

Перехід між різними вкладками здійснюється шляхом спочатку повернення на головний екран за допомогою кнопки «F1 головна сторінка», після чого користувач може перейти до інших вкладок через цей основний інтерфейс.

Вкладка «F4 покази трендів». У цій вкладці, що виконує роль аналізатора процесів за допомогою трендових діаграм, оператор здійснює моніторинг змін контрольованих параметрів технології та аналізує динаміку перебігу виробничих процесів.

Для побудови трендової лінії певного технологічного показника СВО на мнемосхемі створюється спеціальний аналізатор процесів. У цьому аналізаторі здійснюється вибір аналогового сигналу, який прив'язується до відповідної трендової лінії. Обраний сигнал відповідає зазначеному

технологічному параметру та відображається на екрані автоматизованого робочого місця оператора, забезпечуючи зручний моніторинг і аналіз параметра в реальному часі.

На рис.4.24 зображено процес внесення аналогової змінної до інструменту аналізу процесів, що забезпечує можливість відображення показників технологічного параметра.

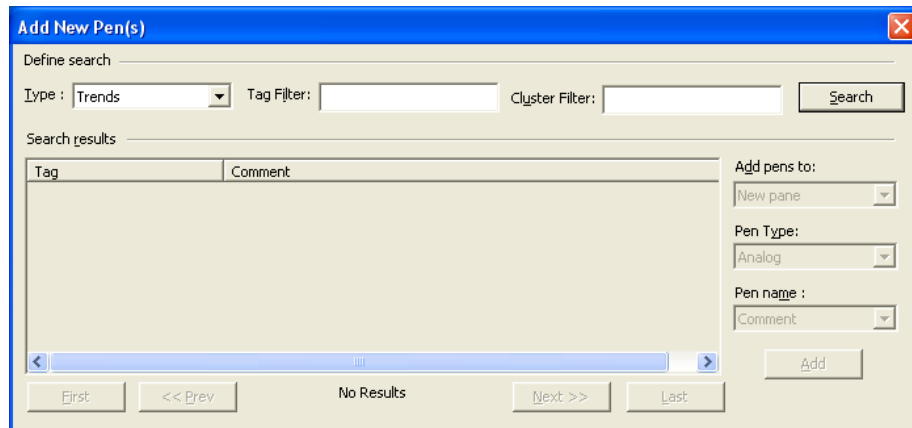


Рисунок 4.24 – Додавання тегу тренду до аналізатора процесів

На рис.4.25 наведено приклад графічного представлення у формі тренду значень аналогового параметра, який відображає витрату живильної води. Цей показник варіюється в межах від 0 до 16 тонн на годину, а дані знімаються з періодичністю 0,5 секунди, що відповідає частоті опитування відповідного датчика.

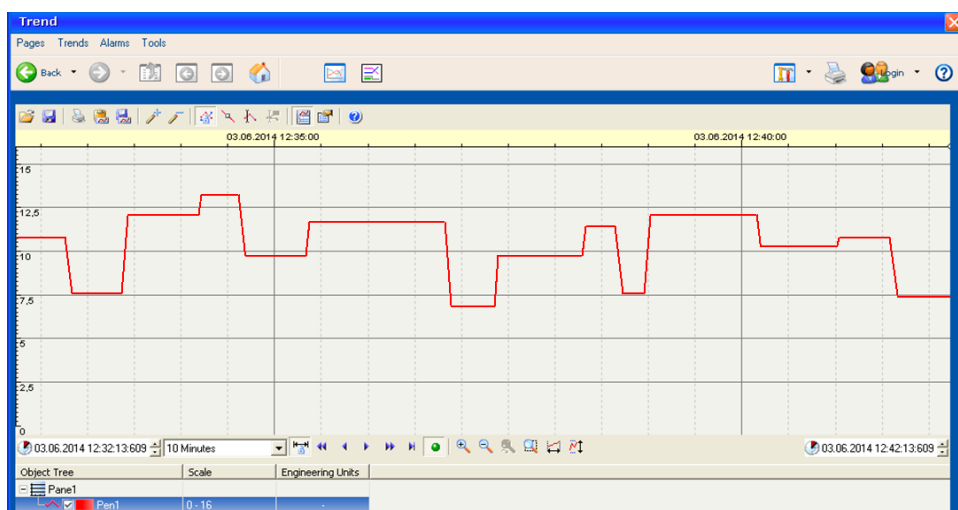


Рисунок 5.25 – Відображення у вигляді тренду аналогової змінної

Перехід до інших вкладок здійснюється шляхом спочатку повернення на головну сторінку, після чого користувач має змогу обрати та перейти до потрібної вкладки.

Вкладка «F5 аварійні уставки». У цій вкладці, що виконує роль вікна аварійних повідомлень, представлена інформація у форматі системних сповіщень, які сигналізують про збої або відхилення в роботі системи. Оператор здійснює моніторинг стану технологічного процесу, орієнтуючись на появу або відсутність повідомлень про помилки, що виникають під час функціонування системи.

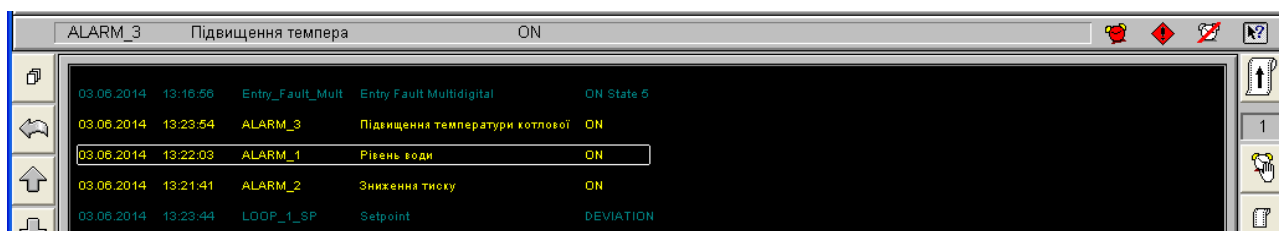
Для забезпечення відображення у вікні аварійних сигналів можливих збоїв та несправностей у вигляді системних повідомлень здійснюється розробка змінних типу аларм, які включають як дискретні, так і аналогові сигнали (рис. 4.26).

The image shows two overlapping windows from a software interface. The top window is titled 'Analog Alarms [Example]' and contains the following fields: 'Alarm Tag' with the value 'LOOP_1_SP', 'Cluster Name' with a dropdown arrow, 'Alarm Name' with the value 'Premium1Tk11', 'Variable Tag' with the value 'Premium1Tk11', and 'Setpoint' with the value 'Premium1Tk11'. The bottom window is titled 'Digital Alarms [Example]' and contains the following fields: 'Alarm Tag' with the value 'ALARM_1', 'Cluster Name' with the value 'Cluster1', 'Alarm Name' with the value 'Premium1System', 'Alarm Desc' with the value 'Premium1System', 'Variable Tag A' with the value 'Premium1System', 'Variable Tag B' with a dropdown arrow, 'Category' with a dropdown arrow, 'Delay' with a dropdown arrow, and 'Comment' with the value 'System'. Both windows have a set of buttons at the bottom: 'Add', 'Replace', 'Delete', and 'Help'. A status bar at the bottom of the 'Digital Alarms' window shows 'Record: 1' and 'Record 1 of 10'.

Рисунок 4.26 – Додавання аларм змінних

На рис.4.27 у вікні сигналів тривоги представлені сформовані змінні, які включають дискретні та аналогові аларми. Вони демонструють стан

технологічних параметрів у табличному форматі, що включає такі дані: актуальний час, назва змінної, її опис і поточний стан.



03.06.2014	13:16:56	Entry_Fault_Mult	Entry Fault Multidigital	ON State 5
03.06.2014	13:23:54	ALARM_3	Підвищення температури котлової	ON
03.06.2014	13:22:03	ALARM_1	Рівень води	ON
03.06.2014	13:21:41	ALARM_2	Зниження тиску	ON
03.06.2014	13:23:44	LOOP_1_SP	Setpoint	DEVIATION

Рисунок 4.27 – Відображення у вікні алармів стану системи

Перемикання між різними вкладками здійснюється шляхом спочатку повернення на основну сторінку, після чого виконується перехід до потрібної вкладки.

ВИСНОВОК

Дана кваліфікаційна робота спрямована на модернізацію автоматизованої системи моніторингу технологічних параметрів, пов'язаних із охолодженням доменних печей на підприємствах металургійної галузі. Основним завданням є розробка сучасної системи, яка забезпечує візуалізацію ключових етапів технологічного процесу. Метою дослідження є покращення функціональності системи контролю та управління, підвищення продуктивності доменної печі, раціональне використання ресурсів, підтримання оптимальних режимів роботи обладнання, створення можливостей для аналізу дій операторів та функціонування техніки. Окрему увагу приділено поліпшенню умов праці персоналу, що обслуговує процес, та переходу до більш високого рівня управління виробничими циклами.

Проаналізовано загальні особливості систем охолодження та принципи функціонування кожного з їх видів. Проведено детальний розгляд технологічного процесу чинної системи охолодження, що дозволило обґрунтувати потребу в модернізації технічного обладнання, автоматизаційних засобів та впровадженні нового програмного забезпечення. На основі отриманих результатів сформульовано технічне завдання для створення системи контролю параметрів технологічного процесу охолодження доменної печі.

У роботі досліджено математичну основу для функціонування системи моніторингу та візуалізації. Сформовано алгоритм, що визначає порядок циклічного опитування вхідних модулів, які здійснюють вимірювання аналогових сигналів. Також передбачено обробку отриманих даних про технологічні параметри, пов'язані з охолодженням доменної печі, пристроями верхнього рівня.

Розроблено та обґрунтовано структуру комплексу технічних засобів автоматизованої системи контролю охолодження доменної печі. Запропонована система складається з трьох основних рівнів: рівня оперативного диспетчерського управління, рівня керування окремими об'єктами та рівня польового обладнання. Кожен рівень виконує специфічні завдання для забезпечення ефективного функціонування загальної системи.

Доведено, що впровадження другого рівня автоматизованої системи керування охолодженням доменної печі доцільно здійснювати у форматі розподіленої системи вводу та виводу. Такий підхід забезпечує компактність технічного обладнання, зменшує витрати на кабельну продукцію та металеві конструкції для прокладання кабельних трас, а також створює умови для інтеграції окремих секцій у єдину узгоджену систему. Відповідно до обраного методологічного підходу визначено та підібрано оптимальні технічні засоби, необхідні для впровадження всіх рівнів управлінської системи.

Для реалізації програмного забезпечення системи моніторингу параметрів охолодження доменної печі були задіяні сучасні програмні засоби. Зокрема, для збирання даних про технологічні процеси до бази даних використано програмний пакет OPC-сервер. Для забезпечення візуалізації та управління технологічним процесом застосовано програмний комплекс CitectSCADA. Такий підхід дозволив створити ефективну систему для оперативного контролю та аналізу виробничих параметрів.

Для забезпечення ефективного інформаційного супроводу технологічного персоналу, який здійснює контроль параметрів охолодження доменної печі та теплового режиму, було розроблено систему моніторингу та візуалізації процесу. Ця система відображає актуальний стан і ключові показники функціонування системи водяного

охолодження (СВО), теплоконтролю кожухів (КВ) і корпусу холодильників шахти печі. Додатково передбачено функціонал для відображення графіків змін параметрів у часі, а також сповіщень про потенційні аварійні ситуації. Запровадження такої системи візуалізації сприятиме своєчасному отриманню технологічними працівниками необхідної оперативної інформації, дозволить ухвалювати оптимальні рішення для управління процесом і забезпечить належний захист обладнання від можливих пошкоджень, підвищуючи загальну ефективність роботи.

Таким чином, запропоновані проектні рішення, спрямовані на створення автоматизованої системи моніторингу параметрів охолодження доменної печі, базуються на впровадженні комплексу сучасного обладнання та програмного забезпечення. Ця система передбачає реалізацію візуалізації технологічного процесу, що відповідає актуальним стандартам у сфері автоматизації. Розроблені підходи можуть бути ефективно використані для інтеграції в технологічний цикл доменних печей на промислових підприємствах.

ЛІТЕРАТУРА

Додаток А. Охорона праці