

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

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

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

**на тему «Система автоматизації газодувної машини ЕГ-1200 цеху
уловлювання в умовах коксового виробництва»**

Керівник роботи

Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

Консультант від
бази практики

Денис КАДУК

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

Здобувач

Олександр ДАНИЛЕЙЧЕНКО

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

Голова ЕК

Андрій ЛЕОНОВ

Запоріжжя 2025



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>автоматизації виробництва та цифрових технологій</u>
Кафедра	<u>автоматизації, електро- та робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>бакалавр</u>
Спеціальність	<u>151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u>
ОПП	<u>Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в металургії та гірництві</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

_____ Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

01.05.2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Данілейченку Олександрю Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Система автоматизації газодувної машини ЕГ-1200 цеху вловлювання в умовах коксового виробництва
керівник роботи Мірошніченко Вікторія Ігорівна, доцент, канд. техн. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету від 81/31.03.2025 від 31.03.2025 р.
2. Термін подання роботи 23.06.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, дані коксохімічного виробництва, результати власних експериментів та досліджень тощо.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції). 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи управління. 3. Реалізація запропонованої системи автоматизації. 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи автоматизації. 5. Охорона праці та заходи безпеки. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема функціональна автоматизації. Схема структурна комплексу технічних засобів. Принципово-електрична схема контуру регулювання. Результати розрахунків.

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Мірошніченко Вікторія Ігорівна
2	Мірошніченко Вікторія Ігорівна
3	Мірошніченко Вікторія Ігорівна
4	Мірошніченко Вікторія Ігорівна
5	Мірошніченко Вікторія Ігорівна

7. Дата видачі завдання 01.05.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	До 19.05.2025
2	Розділ 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури комп'ютерної системи управління	До 26.05.2025
3	Розділ 3. Реалізація запропонованої системи автоматизації	До 09.06.2025
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи автоматизації	До 14.06.2025
5	Розділ 5. Охорона праці	До 14.06.2025
6	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	До 14.06.2025
7	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	16.06.2025-20.06.2025
8	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	16.06.2025-20.06.2025
9	Рецензування завершеної роботи.	23.06.2025-27.06.2025
10	Захист	30.06.2025-04.07.2025

Здобувач

(Олександр ДАНИЛЕЙЧЕНКО)

Керівник роботи

(Вікторія МІРОШНИЧЕНКО)



АНОТАЦІЯ

Данілейченко Олександр Сергійович. «Система автоматизації газодувної машини ЕГ-1200 цеху уловлювання в умовах коксового виробництва». - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». ОПП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в металургії та гірництві» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

Об'єктом дослідження є система управління стабілізації відбору коксового газу цеху вловлювання.

Предметом дослідження є автоматизація стабілізації відбору коксового газу цеху вловлювання.

У першому розділі проаналізована предметна область автоматизація стабілізації відбору коксового газу газодувної машини (ГДМ). Надана загальна характеристика технологічного процесу та наявної системи автоматизації. Приведено аналіз рішень на аналогічних об'єктах. В результаті визначена необхідність модернізації наявної системи яку планується досліджувати та вирішувати в рамках кваліфікаційної роботи.

У другому розділі проведено аналіз технологічного процесу як об'єкту автоматизації, визначено параметри об'єкту автоматизації, визначені задачі автоматичного контролю та регулювання відповідних технологічних параметрів, обґрунтована запропонована структура системи автоматизації, наведено опис функціональної схеми системи автоматизації та схеми принципової електричної контуру регулювання.

У третьому розділі обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації для спроектованої САР. Розроблена структура програмного забезпечення автоматизованої системи ГДМ. Розроблено програмне забезпечення контролеру для виконання основних функцій алгоритму роботи ГДМ. Розроблено програмне забезпечення верхнього рівня SCADA системи.

У четвертому розділі відповідними розрахунками підтверджено економічну доцільність впровадження запропонованої системи автоматизації.

У п'ятому розділі наведено аналіз небезпечних і шкідливих факторів виробництва та рекомендації щодо поліпшення умов праці інженерів АСК ТП.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОКСОВИЙ ЦЕХ, ГАЗОДУВНА МАШИНА, КОКСОВИЙ ГАЗ, АВТОМАТИЗАЦІЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	7
1.1 Літературний огляд.....	7
1.2 Опис технологічного процесу.....	8
1.2.1 Опис технологічного процесу цеху вловлювання.....	8
1.2.2 Опис технологічного процесу машинної зали.....	9
1.2.3 Опис поточного рівня автоматизації.....	11
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ.....	13
2.1 Технологічний процес як об'єкт автоматизації.....	13
2.2 Визначення параметрів об'єкту автоматизації.....	13
2.3 Задачі автоматичного контролю технологічних параметрів.....	14
2.4 Задачі автоматичного регулювання технологічних параметрів.....	14
2.5 Розподіл основних задач на рівнях автоматизації.....	15
2.6 Обґрунтування запропонованої структури системи автоматизації.....	15
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	17
3.1 Вибір технічних засобів автоматизації.....	17
3.2 Проєктування систем автоматичного регулювання.....	17
3.3 Програмна реалізація систем автоматичного регулювання.....	19
3.4 Опис технічних характеристик системи автоматизації.....	24
3.5 Обґрунтування вибору обладнання для системи автоматизації.....	27
3.6 Технічне обслуговування системи автоматизації.....	29
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	30
4.1 Визначення економічної ефективності автоматизації.....	30
4.2 Розрахунок економічних збитків (за 1 аварійну зупинку).....	30
4.2.1 Втрати продукції від зупинки ГДМ.....	30
4.2.2 Збитки через аварійну зупинку ТЕЦ.....	30
4.2.3 Підсумок економічних збитків.....	31
4.3 Техніко-економічна оцінка витрат на впровадження системи.....	32
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ.....	34
5.1 Заходи безпеки.....	34
5.2 Нормативно правові акти з охорони праці.....	35
ВИСНОВКИ.....	36
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37
ДОДАТОК А. СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	39
ДОДАТОК Б ПЕРЕЛІК ОБРАНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	40
ДОДАТОК В ЗНІМКИ ЕКРАНІВ РОЗРОБЛЕНОЇ SCADA СИСТЕМИ.....	41



ВСТУП

В хімічній промисловості велика увага приділяється автоматизації виробництва. Сучасні проблеми розвитку промислової автоматизації потребують інтеграції сучасних рішень для впровадження більш безпечних та надійних методів роботи технологічного обладнання. На виробництвах де є безперервний виробничий процес ця тема як ніколи актуальна, наприклад, для коксохімічних підприємств.

Автоматизована система управління газодувної машини (ГДМ), що використовується на коксохімічному підприємстві, не відповідає сучасним вимогам автоматизації. Через відсутність повного контролю за технологічними параметрами та необхідністю використання людського ресурсу для переходу на іншу машину є вірогідність аварійних ситуацій та простоїв. Принцип побудови системи, управління та обладнання, яке використовується морально застаріли.

Метою роботи є розробка системи автоматизації машинного залу, яка спрямована на покращення надійності, зменшення часу переходу на іншу ГДМ, оперативного контролю параметрів і підвищення безпеки персоналу.

Об'єктом дослідження являється газодувна машина цеху вловлювання, предметом — параметри її роботи, час переходу на іншу машину, системи безпеки, параметри, які потребують контролю та регулювання.

Даний проект дозволить практично впровадити розроблену систему на коксохімічному підприємстві для підвищення ефективності виробництва.



1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Літературний огляд

Публікації, присвячені автоматизації газодувних машин і суміжних систем у коксовому виробництві охоплюють питання автоматизації як окремих агрегатів, зокрема, систем керування тиском і газовими потоками, так і комплексних рішень для всього коксового заводу.

У статті [1] описано впровадження інтелектуальної системи керування тиском у газозбірниках коксової батареї на основі адаптивного нечіткого керування. Автори підкреслюють, що така система забезпечує стабільність тиску, знижує коливання й оптимізує роботу газодувних машин, що є ключовим для енергозбереження та ефективності виробництва.


З урахуванням системи регулювання тиску великого газозбірника в коксових печах, в роботі [2] пропонується оптимізаційна схема управління інтелектуальною розв'язкою коксового колектора тиску. Використовуючи різноманітні передові стратегії управління на основі DCS, розроблено велику систему контролю тиску в коксовому колекторі. Інженерне застосування показує, що конструкція системи є універсальною та ефективною.

У публікації [3] розглядається структура автоматизації коксового заводу, зокрема використання рівнів автоматизації, інтеграція PLC, DCS та мережевих технологій для збору та аналізу даних. Автор наголошує, що автоматизація сприяє зниженню енергоспоживання, стабілізації роботи батарей, підвищенню якості коксу та зменшенню викидів за рахунок точного контролю процесів і оптимізації витрат газу.

В роботі [4] описана автоматизована система керування тягою у коксових печах, яка використовує датчики тиску, температури, концентрації кисню та витрати газу для автоматичного регулювання положення дросельних заслінок. Це дозволяє підтримувати оптимальні умови для роботи газодувних машин і зменшує втрати енергії, які виникають при ручному керуванні.

Технологічні рішення, такі як СОКЕМАСТЕР® від ThyssenKrupp [5], впроваджують моделі автоматизації для оптимізації енергоспоживання, підвищення продуктивності та екологічної безпеки коксових заводів. Вони забезпечують інтеграцію апаратного й програмного забезпечення для автоматичного керування подачею газу, температурними режимами й іншими параметрами, що безпосередньо впливає на роботу газодувних машин.

У роботі [6] розглянуто досвід впровадження системи автоматики та високовольтних перетворювачів частоти для газодувних машин цеху уловлювання та димососа котлотурбінного цеху на ПрАТ «Запоріжжюк». Автор демонструє технічні рішення з частотного регулювання газодувних машин з використанням програмованих логічних контролерів Siemens, що



забезпечило економічний ефект до 30% та загальну економію понад 2 млн гривень за рік.

Публікація [7] присвячена модернізації коксохімічного виробництва Дніпровського меткомбінату "Каметсталь" шляхом впровадження високовольтного перетворювача частоти Niconics потужністю 1250 кВт для регулювання газодувних машин. Результати проекту показали зниження споживання електроенергії майже у 2 рази з середньодобовою економією 6-7 тисяч кВт·год, що суттєво підвищило конкурентоспроможність підприємства.

Таким чином, підходи до автоматизації газодувних машин у коксовому виробництві охоплюють питання енергоефективності, стабілізації процесів та впровадження інтелектуальних систем керування.

У сучасних умовах розвитку коксохімічної промисловості особливої актуальності набуває проблема підвищення ефективності та безпеки технологічних процесів транспортування коксового газу. Дослідження специфіки функціонування газодувних машин та системи їх управління дозволило виявити комплекс технічних та організаційних обмежень, що негативно впливають на надійність виробничих процесів.

Аналіз існуючих підходів до контролю параметрів транспортування коксового газу показав наявність системних недоліків ручного управління, пов'язаних з високим ризиком виникнення аварійних ситуацій та зниженням продуктивності обладнання. Зазначені обставини обумовлюють необхідність впровадження сучасних автоматизованих систем управління.

1.2 Опис технологічного процесу


1.2.1 Опис технологічного процесу цеху вловлювання

Технологічний процес цеху вловлювання є складною єдиною технологічною системою і умовно поділяється на стадії.

Перша стадія обробки прямого коксового газу полягає в його охолодженні над смольною аміачною водою до температури не більше 83 °С. При цьому відбувається конденсація більшої частини смоли та видалення пилу.

Друга стадія — евакуація з газозбірників коксових батареї летких продуктів коксування: пари води, смоли, аміаку, бензольних вуглеводнів, сірководню та інших речовин, що супроводжують коксовий газ.

Третя стадія — охолодження коксового газу в первинних газових холодильниках (ПГХ) до температури, що не перевищує 35 °С, конденсація з нього газового конденсату, смоли. Відстій аміачної води (води барильного циклу) у механізованих освітлювачах від смолистих речовин з отриманням смоли кам'яновугільної та попутної продукції — фусів кам'яновугільних. Зневоднення смоли кам'яновугільної у сховищах смоли до показників, що відповідають вимогам товарної продукції.



Четверта стадія — безперебійне подання аміачної води на охолодження газозбірників КБ№ 5, 6, 7.

П'ята стадія — нагнітання коксового газу і речовин, що в ньому містяться, через ланцюг технологічних апаратів цеху вловлювання, цеху МЕАО з метою вилучення з газу аміаку, бензольних вуглеводнів, сірководню:

- очищення коксового газу від аміаку розчином сірчаної кислоти в сатураторах з одержанням сульфату амонію, що відповідає за показниками якості вимогам нормативної документації;

- кінцеве охолодження коксового газу;

- вловлювання бензольних вуглеводнів з коксового газу в бензольних скруберах маслом кам'яновугільним вбирним;

- дистиляція бензольних вуглеводнів з масла кам'яновугільного вбирного з отриманням бензолу сирого кам'яновугільного, що відповідає за показниками якості вимогам нормативної документації;

- механічна та біологічна очистка фенольних стічних вод, і передача їх у відстійники гасильних башт коксового цеху.

До складу ділянок цеху уловлювання хімічних продуктів коксування входять такі відділення:

- машинна зала;

- відділення конденсація склад смоли;

- сульфатне відділення;

- бензольне відділення;

- відділення БХО.

1.2.2 Опис технологічного процесу машинної зали

Призначення машинної зали полягає у рівномірному відведення коксового газу з газозбірників коксових батареї та нагнітання його для очищення через апаратуру цеху вловлювання та МЕАО з подальшим транспортуванням до споживачів газу у вуглепідготовчий цех (ВПЦ) на гаражі розморожування, на ЕСЦ, коксовий цех (КЦ) на обігріву.

Машинна зала працює у складі 3-х двоступінчастих газодувних машин (ГДМ) з електричними приводами (табл. 1.1).

ГДМ призначенні для відкачування коксового газу з газозбірників коксових батареї (КБ № 5, 6, 7) і подальше постачання його споживачам, забезпечення постійного тиску газу у газопроводі, та постійного розрідження перед первинними газовими холодильниками.

Відведення коксового газу з КБ № 5, 6, 7 можуть забезпечувати як дві ГДМ, так і одна, в залежності від кількості коксового газу. При цьому одна ГДМ має бути в резерві. Після ПГХ газ транспортується до газодувних машин двома паралельними газопроводами $\varnothing 1200$ мм і $\varnothing 1500$ мм. Всі газопроводи, що підводять до нагнітачів, в будівлі машинної зали з'єднані між собою перемичками і представляють єдину систему, що

сполучається між собою, має байпаси. Ділянки газопроводів від газових сепараторів до ПГХ, а також ПГХ і два газопроводи, що підводять до нагнітачів, знаходяться під розрядженням до 500 мм вод.ст. Після ГДМ ділянки газопроводів з апаратурою перебувають під надмірним тиском від 1500 - 2900 мм.вод.ст.


Таблиця 1.1 – Характеристики газодувних машин

Найменування	Характеристики
Газодувна машина №1 N-°5 1200-27-2	Продуктивність при фактичних умовах - 72000 м ³ /год.; Об'ємна продуктивність - 1200 м ³ /хв.; Сумарний напір — 3400 мм вод. ст.; Кількість обертів в хвилину — 2980; Кількість робочих колес — 2 шт.; Тип електродвигуна N кВт/об/хв. — 1250/1500; Споживча потужність — 1250 кВт; Напруга — 6000 В
Газодувна машина №2 1200-21-1	Продуктивність при фактичних умовах — 42000 м ³ /год.; Об'ємна продуктивність - 1200 м ³ /хв.; Сумарний напір — 2980 мм вод. ст.; Кількість обертів в хвилину — 2980; Кількість робочих колес — 2 шт.; Тип електродвигуна N кВт/об/хв. — 1250/1500; Споживча потужність — 900 кВт; Напруга — 6000 В

Газ у момент проходження через ротори нагнітачів, що швидко обертаються, зазнає механічного впливу — стиску. В результаті газ додатково очищається від конденсату та туманоподібної смоли, які постійно виводяться через лінії сходу конденсату в гідро затвори і далі по загальному трубопроводу самопливом надходять у заглиблені збірники гарячого і холодного конденсату відділення конденсації. В результаті компресії температура газу в машині підвищується на 15 °С - 25 °С.

Пропарка конденсатовідвідників від нагнітачів, конденсатовідвідників та газопроводів у нагнітачів повинна проводитися не рідше ніж один раз на 4 години, а в холодний час через 2 — 3 години. Після нагнітача коксовий газ із температурою 50 °С - 70 °С надходить у нагнітальний газопровід і далі у сульфатне відділення для очищення коксового газу від аміаку. Після газодувних машин система перекидних ліній та газових засувок дозволяє перенаправити газ з кожної ГДМ по кожній із трьох черг газопроводів на очищення від аміаку до сульфатного відділення.

Конденсація парів і газів при великому перепаді тисків викликає сильну електризацію газових потоків при їх проникненні через



нещільності, що вимагає підвищеної уваги до герметизації обладнання, що містить горючі пари і газу. Для виявлення вибухонебезпечних концентрацій коксового газу в приміщенні машинного відділення встановлено сигналізатор довибухонебезпечних концентрацій, що попереджає звуковим сигналом про наявність коксового газу в приміщенні.

Для аварійного відключення ГДМ №1, 2, 5 на пускових колонках розташовані кнопки "стоп" для відключення двигунів газодувки. Також ГДМ обладнані блокувальними пристроями, сигналізацією: тиску коксового газу на видачі, подачі масла на підшипники ГДМ, обдування повітрям електродвигунів ГДМ.

Нагнітачі виконані у вигляді одноциліндрової двоступінчастої машини з одностороннім всмоктуванням. Корпус нагнітача чавунний, має роз'єми у вертикальній та горизонтальній площинах. Всмоктуючий та нагнітальний патрубків спрямовані вниз. Проточна частина нагнітача складається з двох коліс, насаджених на вал, дифузоров і направляючих апаратів, що становлять щаблі стиснення, які розділені між собою лабиринтними ущільненнями.

Нагнітач забезпечений валоповоротним пристроєм для повертання ротора при змащуванні його, коли нагнітач знаходиться в резерві, а також при пропарюванні нагнітача перед пуском і після зупинки. Пропарювання проточної частини нагнітача проводиться для очищення її від смолистих речовин.

Привід нагнітачів здійснюється електродвигуном типу ДАП-14-49-4 через редуктор типу РЦОТ-320-2,62-1Н.

1.2.3 Опис поточного рівня автоматизації

На поточний момент контроль та управління технологічними процесами ГДМ побудовано на рівні обладнання КВП. Контроль здійснюється за вторинними приладами КВП, регулювання здійснюється локальним регулятором КВП. Режим експлуатації ГДМ – безперервний, з періодичними переходами на резервні ГДМ для проведення регламентних робіт.

Недоліками існуючої системи автоматичного регулювання ГДМ є те, що вона виконана на технологічному регуляторі МІК-51 і працює тільки з однією в даний час робочою ГДМ.

Для переходу на резервну ГДМ необхідно виконати перемикання вимірювальних та керуючих сигналів. При аварійній ситуації неможливо швидко перейти на резервну ГДМ, що призводить до зупинки відділень ЦВ.

Збоїв в контурі регулювання призводять до аварійного переходу на режим ручного регулювання, аварійних зупинок газодувних машин (ГДМ).

Існуюча система не забезпечує повний контроль параметрів (температури, тиску в системі мастила) всіх ГДМ, що не дозволяє



своєчасно виявляти відхилення в роботі, а також оперативно переходити на резервну ГДМ.

Відсутня автоматична система блокування приводів при порушенні технологічних параметрів.

Час повного переходу на резервну ГДМ – 110 хв. з них:

- час пуску та регулювання ГДМ;
- запуск у ручному режимі (підключення лише основних датчиків) – 40 хв;
- підключення інших датчиків до вторинних приладів – 20 хв;
- налаштування регулятора під резервну ГДМ та включення в автоматичний режим – 30 хв.



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

2.1 Технологічний процес як об'єкт автоматизації

Процес транспортування коксового газу в умовах коксохімічного виробництва являє собою складну технологічну систему, що характеризується багатопараметричністю, нелінійністю динамічних характеристик та взаємозв'язком технологічних параметрів. Як об'єкт автоматизації, газовий тракт коксових батарей включає в себе газозбірники, первинні газові холодильники та газодувні машини, що забезпечують транспортування коксового газу від коксових батарей до подальшої переробки.


Технологічний процес характеризується наявністю розподілених параметрів, змінними режимами роботи обладнання та необхідністю забезпечення стабільного розрідження в газопроводі. Особливістю об'єкта автоматизації є критична важливість підтримання заданих параметрів для забезпечення технологічної безпеки та ефективності виробничого процесу. Динамічні характеристики об'єкта визначаються інерційністю газових потоків, особливостями роботи газодувних машин та тепловими процесами в газових холодильниках.

2.2 Визначення параметрів об'єкту автоматизації

На основі аналізу технологічних та експериментальних даних визначено перелік контрольованих та регульованих параметрів технологічного процесу. Основними контрольованими параметрами є тиск коксового газу в газозбірниках коксових батарей, розрідження перед первинними газовими холодильниками, температура газу на різних ділянках газового тракту, та параметри роботи допоміжного обладнання.

Критичними для управління є параметри розрідження коксового газу перед первинними холодильниками, які безпосередньо впливають на ефективність процесу охолодження та якість кінцевого продукту. Експериментальні дані свідчать про наявність значних коливань цих параметрів при роботі в ручному режимі, що обґрунтовує необхідність впровадження автоматичного регулювання. Статистичний аналіз технологічних даних показує, що відхилення від оптимальних значень розрідження може призводити до зниження ефективності процесу на 8-12%.

Температурні параметри газового потоку характеризуються інерційністю зміни та взаємозв'язком з параметрами тиску. Витратні характеристики визначаються продуктивністю газодувних машин та гідравлічним опором газового тракту. Аналіз експериментальних даних дозволив встановити діапазони зміни основних параметрів та їх



статистичні характеристики, що стало основою для синтезу алгоритмів управління.

2.3 Задачі автоматичного контролю технологічних параметрів

Система автоматичного контролю повинна забезпечувати безперервний моніторинг усіх критичних параметрів технологічного процесу з необхідною точністю та швидкістю. Основними задачами контролю є вимірювання поточних значень технологічних параметрів, їх попередня обробка та фільтрація, контроль перебування параметрів у заданих технологічних діапазонах та формування сигналів попередження при відхиленнях.

Особливу увагу приділено контролю достовірності вимірюваної інформації, що включає виявлення відмов первинних вимірювальних перетворювачів, контроль цілісності вимірювальних кіл та діагностику стану вимірювального обладнання. Система контролю повинна забезпечувати архівування технологічної інформації з необхідною глибиною зберігання та можливістю формування звітної документації.

Реалізація функцій контролю передбачає використання сучасних мікропроцесорних засобів з можливістю самодіагностики та адаптації до змінних умов експлуатації. Алгоритми контролю включають процедури експоненційного згладжування сигналів, лінеаризації характеристик датчиків та компенсації систематичних похибок вимірювання.

2.4 Задачі автоматичного регулювання технологічних параметрів

Центральною задачею системи автоматизації є забезпечення автоматичного регулювання розрідження коксового газу перед первинними холодильниками для кожної з газодувних машин. Аналіз об'єкта регулювання показав необхідність реалізації окремих контурів регулювання для кожної газодувної машини з можливістю їх незалежного функціонування.

Синтез регуляторів базується на використанні ПІД-алгоритмів з адаптивним налаштуванням параметрів відповідно до поточних умов роботи обладнання. Особливістю реалізації є необхідність забезпечення безперервного переходу між ручним та автоматичним режимами управління, а також можливість каскадного регулювання при зміні режимів роботи технологічного обладнання.

Алгоритми регулювання повинні враховувати нелінійність характеристик регулюючих органів, транспортні запізнювання в газовому тракті та взаємний вплив контурів регулювання. Передбачено реалізацію функцій технологічних блокувань та захистів, що забезпечують безпечну роботу обладнання в аварійних ситуаціях.

2.5 Розподіл основних задач на рівнях автоматизації

Структура системи автоматизації побудована за ієрархічним принципом з чітким розподілом функцій між рівнями управління [9]. Нижній рівень автоматизації, реалізований на програмованих логічних контролерах, забезпечує виконання базових функцій збору та первинної обробки інформації, реалізацію алгоритмів регулювання в реальному часі та формування управляючих впливів на виконавчі механізми.

На цьому рівні вирішуються задачі безпосереднього управління технологічним обладнанням, включаючи опрацювання аналогових та дискретних сигналів від первинних вимірювальних перетворювачів, виконання алгоритмів ПІД-регулювання, реалізацію логічних функцій блокувань та захистів, а також забезпечення інформаційного обміну з верхнім рівнем системи.


Верхній рівень автоматизації, побудований на базі SCADA-системи, виконує функції диспетчерського управління та включає задачі візуалізації технологічного процесу, ведення архівів технологічної інформації, формування звітної документації та забезпечення інтерфейсу з операторським персоналом. На цьому рівні реалізуються функції довгострокової оптимізації технологічних режимів, аналізу трендів технологічних параметрів та прогнозування розвитку технологічних ситуацій.

2.6 Обґрунтування запропонованої структури системи автоматизації

Запропонована трирівнева структура системи автоматизації забезпечує оптимальний розподіл обчислювальних ресурсів та функціональних можливостей. Використання програмованих логічних контролерів на нижньому рівні гарантує високу надійність та швидкодію виконання критичних функцій управління, тоді як SCADA-система верхнього рівня забезпечує зручний інтерфейс користувача та розширені можливості аналізу технологічної інформації.

Структурна організація системи передбачає можливість поетапного розширення функціональних можливостей без кардинальної зміни базової архітектури. Застосування промислової мережі EtherNet/IP забезпечує високошвидкісний обмін даними між рівнями системи та можливість інтеграції з корпоративними інформаційними системами підприємства.

Резервування критично важливих компонентів системи та використання джерел безперебійного живлення гарантує необхідний рівень надійності функціонування. Модульна побудова системи дозволяє здійснювати технічне обслуговування окремих компонентів без зупинки технологічного процесу, що є критично важливим для безперервного виробництва.



Запропонована структура системи управління забезпечує комплексне вирішення задач автоматизації процесів транспортування коксового газу з урахуванням специфіки об'єкта управління та сучасних вимог до промислових систем автоматизації.



3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вибір технічних засобів автоматизації

Вибір технічних засобів автоматизації для системи управління ГДМ коксохімічного виробництва здійснювався на підставі комплексного аналізу сучасних технологічних рішень із урахуванням специфічних вимог промислового процесу. Науково обґрунтований підхід до формування технічної архітектури системи передбачав детальне вивчення критеріїв надійності, електромагнітної сумісності, експлуатаційної ефективності та інтеграційної спроможності обладнання в умовах агресивного промислового середовища.


Аналіз експлуатаційних характеристик програмованих логічних контролерів різних виробників дозволив обґрунтувати доцільність використання контролерного обладнання Modicon M340 виробництва Schneider Electric [10]. Вибір даного технічного рішення зумовлений високими показниками надійності процесорних модулів серії VMXP342020, які забезпечують стабільну роботу в температурному діапазоні від +10 до +30°C при відносній вологості навколишнього середовища 50-80%. Модульна архітектура контролера дозволяє гнучко конфігурувати систему вводу-виводу відповідно до специфічних потреб технологічного процесу, забезпечуючи обробку до 72 аналогових входів, 16 аналогових виходів, 80 дискретних входів та 64 дискретних виходів.

Система людино-машинного інтерфейсу реалізована на базі програмного забезпечення Simatic WinCC V7.5, що забезпечує комплексну візуалізацію технологічних параметрів та ефективне управління процесом газоочищення. Обґрунтування вибору даного SCADA-рішення базується на його високій функціональній спроможності щодо протоколювання технологічної інформації з можливістю архівного зберігання даних протягом одного року, а також забезпеченні надійного обміну інформацією через мережу Industrial Ethernet.

Архітектура мережевої інфраструктури побудована на базі керованого комутатора Cisco WS-C2960, що забезпечує стабільний обмін даними між рівнями автоматизації з мінімальним часом затримки. Застосування джерел безперервного живлення Smart-UPS SMT1000RMI2UC гарантує автономну роботу критично важливих компонентів системи протягом не менше 20 хвилин при відключенні основного електроживлення.

3.2 Проєктування систем автоматичного регулювання

Проєктування систем автоматичного регулювання для газоочисного обладнання здійснювалося з урахуванням специфічних вимог коксохімічного виробництва до точності підтримання технологічних параметрів. Аналіз технологічної інструкції дозволив визначити критично



важливі параметри регулювання, серед яких пріоритетне значення мають тиск газового потоку, витратні характеристики очищеного газу та температурні режими обладнання ГДМ.

Обґрунтування вибору контрольованих параметрів базується на їх безпосередньому впливі на ефективність процесу газоочищення та забезпечення екологічної безпеки виробництва. Контроль тиску газового потоку є критично важливим для підтримання оптимальних аеродинамічних характеристик системи, при цьому допустимий діапазон коливань не повинен перевищувати $\pm 2\%$ від номінального значення. Швидкість зміни тиску в нормальних експлуатаційних умовах не перевищує $0,5$ кПа/хв, що обумовлює вимоги до динамічних характеристик системи регулювання.

Регулювання витратних характеристик газового потоку здійснюється з точністю $\pm 1,5\%$ від номінального значення при максимальній швидкості зміни параметра 5% за хвилину. Вимоги до перехідних процесів передбачають забезпечення аперіодичного характеру регулювання з часом регулювання не більше 3 хвилин та максимальним перегулюванням не більше 5% .

Розрахунок параметрів налаштування ПІД-регулятора здійснювався методом розширених частотних характеристик з урахуванням динамічних властивостей об'єкта регулювання. Пропорційна складова регулятора визначається коефіцієнтом $K_p = 2,5$, інтегральна складова характеризується постійною часу $T_i = 180$ с, диференціальна складова має постійну часу $T_d = 45$ с. Зазначені параметри забезпечують оптимальне співвідношення між швидкодією системи та її стійкістю в умовах промислових завод.

Вибір контрольно-вимірювальних приладів здійснювався відповідно до вимог Стандарту АСУ ТП Метінвест Холдингу [11] з урахуванням специфічних умов експлуатації коксохімічного виробництва. Для вимірювання тиску застосовуються датчики тиску з електропневматичними перетворювачами ITV1050-01F1N, що забезпечують високу точність вимірювання та стійкість до агресивного газового середовища. Вимірювання витратних характеристик реалізується за допомогою вимірювальних перетворювачів струму MACX MCR-SL-CAC-5-I з цифровими індикаторами M4YS-NA.

Функціональна схема автоматизації побудована за принципом трирівневої ієрархії управління [12], де перший рівень представлений польовими датчиками та виконавчими механізмами, другий рівень включає програмований логічний контролер з модулями вводу-виводу, третій рівень складають автоматизовані робочі місця операторів. Принципово-електрична схема контуру регулювання тиску газового потоку передбачає використання інтерфейсних реле RSL1PVBU для гальванічної розв'язки сигнальних ланцюгів та забезпечення електромагнітної сумісності системи.

3.3 Програмна реалізація систем автоматичного регулювання

Програмна реалізація систем автоматичного регулювання здійснювалася з використанням інтегрованого середовища розробки Unity Pro для програмування контролера Modicon M340 та системи візуалізації Simatic WinCC для створення людино-машинного інтерфейсу. Архітектура програмного забезпечення побудована за модульним принципом, що забезпечує гнучкість системи та спрощує процедури технічного обслуговування.

Алгоритм функціонування системи автоматичного регулювання реалізований у вигляді функціональних блоків, що включають модулі збору та обробки аналогових сигналів, блоки ПІД-регулювання, модулі формування керуючих впливів та діагностичні підпрограми. Програмна реалізація ПІД-регулятора забезпечує автоматичне налаштування параметрів регулювання залежно від поточного режиму роботи обладнання та динамічних характеристик технологічного процесу.

Система візуалізації включає комплекс взаємопов'язаних мнемосхем, що забезпечують повноцінне відображення стану технологічного обладнання та параметрів процесу газоочищення. Основні робочі мнемосхеми "ГДМ №1", "ГДМ №2" та "ГДМ №5" реалізують графічне представлення технологічної схеми з індикацією поточних значень контрольованих параметрів та стану виконавчих механізмів. Кольорова індикація елементів мнемосхеми відповідає загальноприйнятим стандартам: сірий колір позначає неактивний стан обладнання, зелений - нормальний режим роботи, червоний - аварійний стан.

Підсистема трендів забезпечує візуалізацію історичних даних технологічних параметрів у режимі реального часу з можливістю детального аналізу архівної інформації. Програмна реалізація модуля трендів передбачає гнучке налаштування часових діапазонів відображення, масштабування графіків та інтерактивний аналіз даних за допомогою рухомої лінійки курсора.

Система управління аваріями реалізована у вигляді спеціалізованих програмних модулів, що забезпечують автоматичне виявлення нештатних ситуацій, формування відповідних повідомлень та активацію процедур аварійного захисту обладнання. Алгоритм обробки аварійних сигналів включає автоматичне квітування повідомлень, протоколювання подій з прив'язкою до точного часу виникнення та формування звітної документації.

Програмне забезпечення контролера реалізує можливість роботи системи в автоматичному та ручному режимах управління. Автоматичний режим передбачає виконання повного циклу регулювання згідно з заданими алгоритмами без втручання оператора, забезпечуючи оптимальні показники ефективності процесу газоочищення. Ручний режим призначений для проведення налагоджувальних робіт та надзвичайних

ситуацій, коли необхідне безпосереднє управління технологічним обладнанням з боку обслуговуючого персоналу.

Архівування технологічної інформації здійснюється на рівні SCADA-системи з можливістю зберігання даних протягом одного року. Програмна реалізація підсистеми архівування забезпечує автоматичну ротацію файлів даних, стиснення архівної інформації та формування резервних копій критично важливих параметрів процесу. Система протоколювання дій оператора забезпечує повну трасованість всіх операцій управління з фіксацією часу виконання та ідентифікації користувача.

В АСК ТП «СУ ГДМ» прийнята загальна концепція управління насосами, обладнаними частотними перетворювачами або ПІД-регуляторами (рис. 3.1)

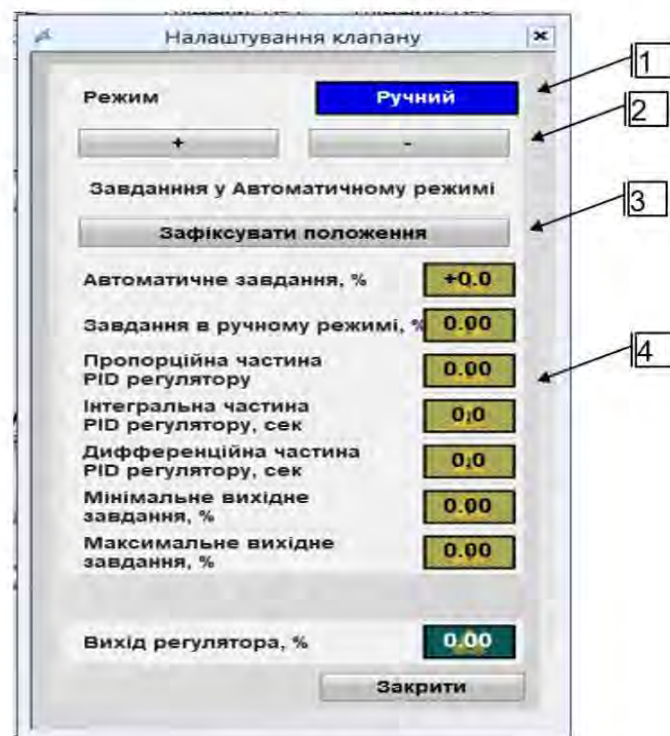


Рисунок 3.1 – Панель налаштування клапана: 1 – поле «Режим» – відображається поточний режим клапана, який вибрано. Його керування проводиться з панелі управління; 2 – кнопки керування клапаном в ручному режимі; 3 – вибір режиму роботи клапаном в автоматичному режимі; 4 – поле виведення налаштувань для ПІД-регулятора

На мнемосхемі (рис. 3.2) відображаються основні технологічні параметри блоку ГДМ № 1. Кожен елемент відображається в поточному стані. Мнемосхема «Тренди ГДМ № 1» (рис. 3.3) активується при натисканні на екранну кнопку «Тренди ГДМ № 1».

На мнемосхемі (рис. 3.4) відображаються дії оператора із зазначенням часу вчинення дії. Мнемосхема "Система" - активується при натисканні на екранну кнопку "Система".

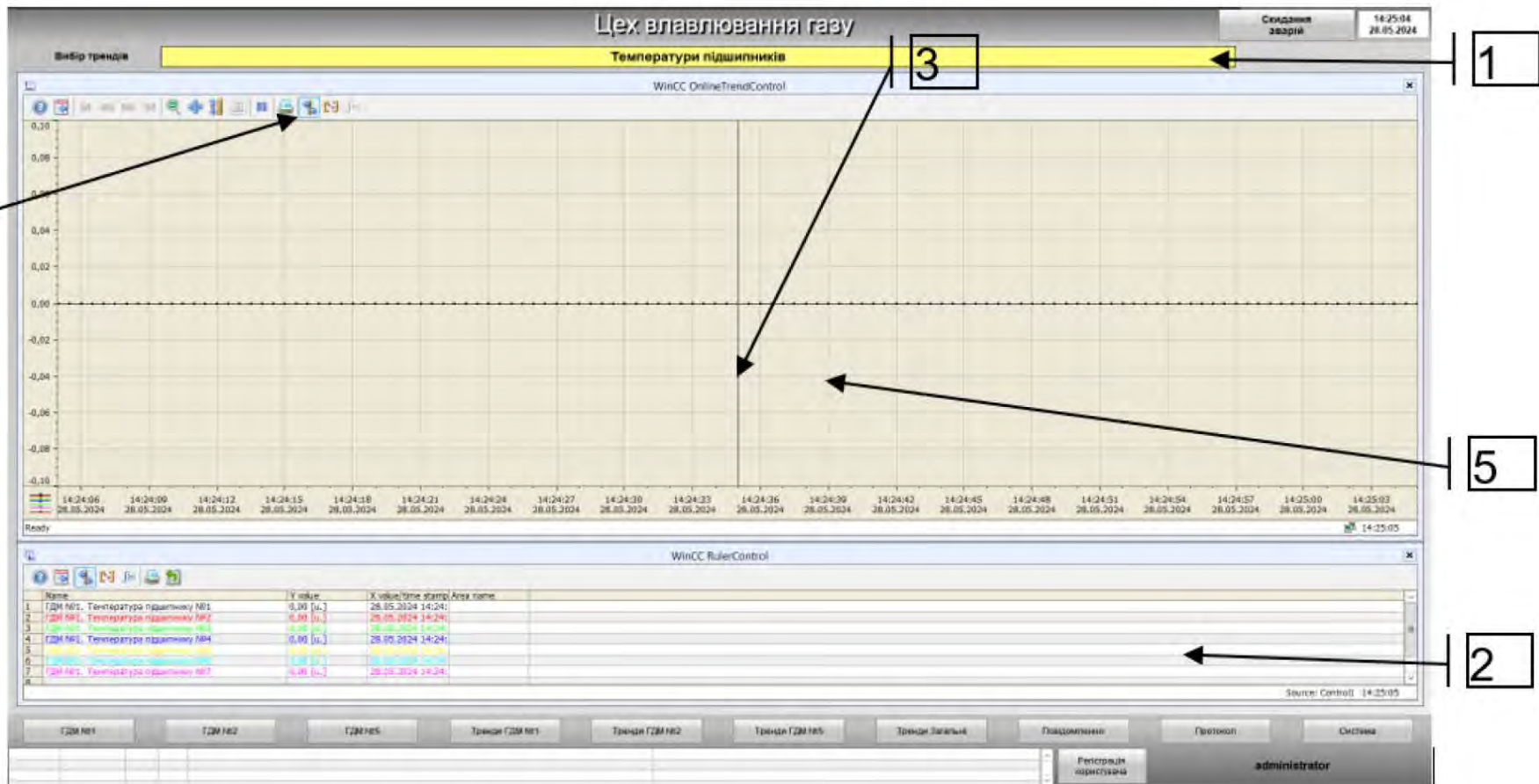


Рисунок 3.3 – Мнемосхема «Тренди ГДМ№1»:

1 – список графіків; 2 – таблиця значень графіка у моменті часу; 3 – “лінійка”, що пересувається за допомогою “мишки”, показання цього моменту часу відображається на нижній таблиці пункт 2; 4 – клавіші додаткових можливостей; 5 – поле з відображенням графіків

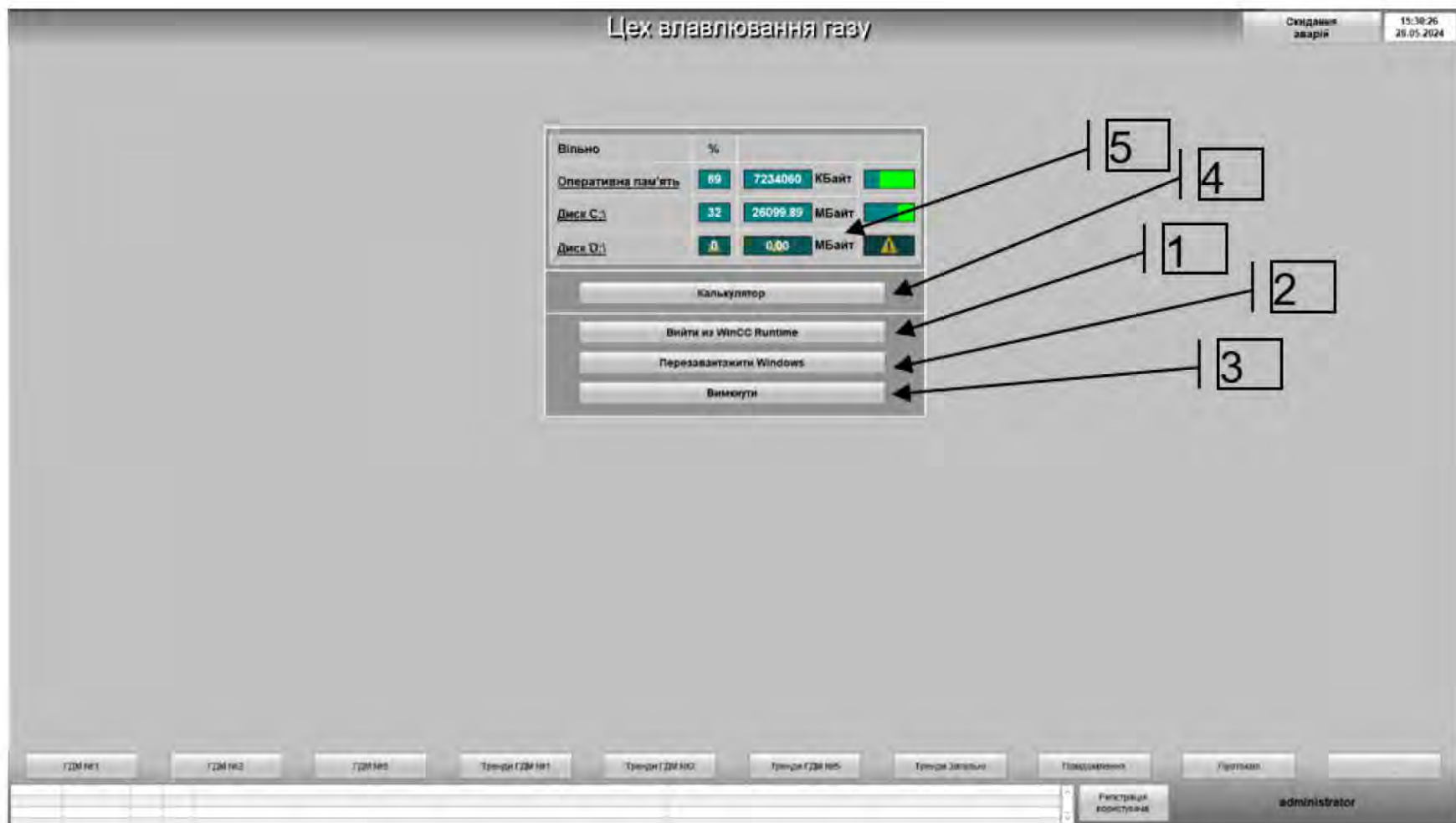



Рисунок 4 – Мнемосхема «Система»: 1 – екранна кнопка виходу з WinCC; 2 – екранна кнопка перезавантаження комп'ютера; 3 – екранна кнопка вимкнення комп'ютера; 4 – екранна кнопка виклику калькулятора; 5 – область з інформацією про розмір жорстких дисків та оперативної пам'яті (зелена область – зайнятий простір, сіра область – вільний простір).



На мнемосхемі (рис. 3.4) проводиться відображення вільного простору на жорсткому диску комп'ютера, з цієї мнемосхеми можна коректно завершити роботу комп'ютера, переглянути діагностику мережного обладнання, перезапустити SCADA систему WinCC.

Також на цій мнемосхемі можна налаштувати технологічні параметри для роботи підсистем АСУ ТП «СУ ГДМ» та задати рівні аварійних сигналів.

Для виходу з WinCC натиснути екранну кнопку (рис. 3.4), відобразиться вікно підтвердження виходу, підтвердити вихід натисканням на екранну кнопку «Вийти» або скасувати вихід натисканням на екранну кнопку «Скасувати».

Якщо під час роботи виникає аварія аналогового або дискретного датчику, на екрані аналоговий датчик змінить свій колір на червоний, дискретний датчик змінить свій колір на червоний й з'явиться відповідне повідомлення з поясненням причини аварії. У цих випадках необхідно повідомити працівників, котрі відповідають за роботу ГДМ та діяти згідно чинної інструкції по роботі з ГДМ. Після цього треба усунути аварію та натиснути у верхньому правому куту екрану кнопку «Скидання аварій». Дату та час аварій можна подивитися на екрані «Повідомлення». У разі позаштатної аварії треба натиснути кнопку «Аварія» над робочим столом оператора, для передачі сигналу у систему керування ГДМ, перевести перемикач режиму роботи клапану у «Ручний», та повідомити працівників, котрі відповідають за роботу ГДМ та діяти згідно чинної інструкції по роботі з ГДМ.

3.4 Опис технічних характеристик системи автоматизації

Система забезпечує довгострокове зберігання всіх операційних даних, журналів подій, аварійних сигналів та історичних трендів протягом 12 місяців. Це дозволяє проводити детальний аналіз роботи обладнання, виявляти закономірності в технологічних процесах та забезпечує відповідність вимогам нормативних документів щодо ведення технологічної документації.

Канали введення/виведення (табл. 3.1, 3.2, 3.3). Система має потужну конфігурацію каналів для обробки різних типів сигналів:

1) аналогові входи (до 72 каналів) призначені для підключення датчиків температури, тиску, витрати, рівня та інших параметрів, що передають безперервні сигнали (4-20 мА, 0-10 В); забезпечують точний моніторинг технологічних параметрів з високою роздільною здатністю;

2) аналогові виходи (до 16 каналів) використовуються для управління виконавчими механізмами з плавним регулюванням: частотними перетворювачами, регулюючими клапанами, приводами заслінок; дозволяють здійснювати прецизійне управління технологічними процесами;

3) дискретні входи (до 80 каналів) обробляють сигнали від кінцевих вимикачів, датчиків положення, реле захисту, кнопок управління та інших пристроїв, що працюють в режимі "включено/виключено"; забезпечують контроль стану обладнання та сигналізацію аварійних ситуацій;

4) дискретні виходи (до 64 канали) керують електромагнітними клапанами, пускачами двигунів, сигнальними лампами, звуковими сигналізаторами та іншими виконавчими пристроями дискретного типу.

Таблиця 3.1 – Перелік вхідних сигналів для АСКТП ГДМ загальних для всіх машин

№ п/п	Параметр	Шкала	Вихідний сигнал	Регулювання	Контроль	Блокування	Сигналізація	Архівування
1.	Розрідження до ПГХ	-6.3к кПа	мА	+	+		+	+
2.	Температура КГ до ПГХ	0...100 °С	мА		+		+	+
3.	Розрідження після ПГХ	-6.3к кПа	мА		+		+	+
4.	Розрідження перед ГДМ	-10 кПа	мА		+		+	+
5.	Температура КГ перед ГДМ	0...150 °С	мА		+		+	+
6.	Тиск КГ після ГДМ	40 кПа	мА		+		+	+
7.	Тиск повітря КВП	0-2 кг/см ²	мА		+		+	+
8.	Температура КГ на вході ГДМ	0...150 °С	мА		+		+	+
7.	Температура КГ на виході ГДМ	0...150 °С	мА		+		+	+

Таблиця 3.2 – Перелік вхідних сигналів для АСКТП ГДМ

№ п/п	Параметр	Шкала	Вихідний сигнал	Регулювання	Контроль	Блокування	Сигналізація	Архівування
1.	Температура масла до маслоохолоджувачів	0...150 °С	мА		+		+	+
2.	Температура масла після маслоохолоджувачів	0...150 °С	мА		+		+	+
3.	Температура повітря на охолодження двигуна	0...150 °С	мА		+		+	+
4.	Тиск масла у маслосистемі	0-6 кг/см ²	мА		+		+	+


Продовження табл. 3.2

5.	Рівень масла у маслобаці	0-10%	дискрет н.		+		+	+
6.	Температура підшипника №1	0... 150 °С	мА		+		+	+
7.	Температура підшипника №2	0... 150 °С	мА		+		+	+
8.	Температура підшипника №3	40 кПа	мА		+		+	+
9.	Температура підшипника №4	0... 150 °С	мА		+		+	+
10.	Температура підшипника №5	0... 150 °С	мА		+		+	+
11.	Температура підшипника №6	0... 150 °С	мА		+		+	+
12.	Температура підшипника №7	0... 150 °С	мА		+		+	+
13.	Температура підшипника №8	0... 150 °С	мА		+		+	+
14.	Температура підшипника №9	0... 150 °С	мА		+		+	+
15.	Струм двигуна	0...300А	А		+		+	+

Таблиця 3.3 – Перелік основних сигналів сигналізації

№ п/п	Параметр	Межа вимірювання	Кіл-ть сигналів
1	Перевищення температури підшипників	70	1
2	Перевищення тиску масла	5,5 кгс/см ²	1
3	Падіння тиску масла	пред. 0,7 кгс/см ² авар. 0,35 кгс/см ²	2
4	Падіння рівня масла у маслобаку		
5	Падіння тиску повітря на обдув двигуна	колектор 40 мм.вд.ст двиг. 7-5 мм.вд.ст	2
6	Падіння тиску повітря КВП	1,5 кгс/см ²	1
7	Перевищення концентрації СО та горючих газів на першому та другому поверсі машзалу	СО 10% гази 20%	2
8	Перевищення тиску кокс.газу після ГДМ	32 кПа	1

Швидкодія системи. Час перемикання управління – не більше 1 хвилини При виході з ладу основного контролера або каналу зв'язку система автоматично переключається на резервний канал управління



протягом максимум 60 секунд. Це забезпечує високу надійність та мінімізує ризик зупинки технологічного процесу.

Система відповідає третій категорії надійності електропостачання згідно з національними стандартами, що передбачає можливість перерви в електропостачанні на час, необхідний для ввімкнення резервного живлення вручну, але не більше доби.

Система включає два повнофункціональних автоматизованих робочих місця оператора, обладнаних сучасними комп'ютерами, моніторами та спеціалізованим програмним забезпеченням SCADA. Забезпечують дублювання функцій управління та контролю.

Робочі станції та джерела безперебійного живлення працюють від стандартної мережі 220В 50Гц, що забезпечує простоту підключення та обслуговування. Програмовані логічні контролери, польові прилади та периферійне обладнання живляться безпечною напругою 24В DC, що підвищує надійність роботи в промислових умовах та знижує вимоги до електробезпеки. Джерела безперебійного живлення забезпечують коректне завершення робочих процесів та збереження даних при короткочасних перебоях електропостачання. 20 хвилин достатньо для перемикання на резервне живлення або безпечної зупинки системи.


Кліматичні умови експлуатації: температурний діапазон: +10...+30°C – обладнання розраховане на роботу в кондиціонованих приміщеннях з помірним температурним режимом, типовим для диспетчерських та операторських; відносна вологість: 50-80% – система стійка до підвищеної вологості, характерної для промислових об'єктів, але потребує захисту від прямого потрапляння вологи. Освітленість робочих зон – не менше 150 лк – мінімальний рівень освітлення забезпечує комфортні умови праці операторів та можливість візуального контролю стану індикаторів на обладнанні відповідно до санітарних норм.

Терміни експлуатації – 8 років – розрахунковий термін безвідмовної експлуатації системи при дотриманні регламентів технічного обслуговування та своєчасної заміни зношених компонентів. Виробник гарантує безкоштовне усунення дефектів та заміну несправних компонентів протягом 12 місяців з моменту введення системи в експлуатацію, за умови дотримання правил експлуатації.

3.5 Обґрунтування вибору обладнання для системи автоматизації

Представлена система являє собою комплексне рішення для промислової автоматизації на базі контролера Schneider Electric Modicon m340 з інтеграцією в корпоративну мережу та системи візуалізації. Система розрахована на контроль та управління технологічними процесами з можливістю дистанційного моніторингу та керування.

Мережева інфраструктура включає до свого складу комутатор CISCO WS-C2960-8TC-S забезпечує базову мережеву інфраструктуру з 8



портами FAST ETHERNET та одним комбінованим портом T/SFP для підключення до корпоративної мережі. Даний комутатор підтримує базові функції керованого комутатора та забезпечує надійне з'єднання між компонентами системи.

Джерела безперервного живлення (ДБЖ) APC SMART-UPS SMT1000RMI2UC потужністю 1000VA кожен забезпечують безперервне електроживлення критично важливого обладнання. Рекмаунтове виконання 2U дозволяє компактно розмістити ДБЖ в серверних шафах.

Операторські станції представлені настільними комп'ютерами на базі процесора INTEL CORE I5-10500 з 16 ГБ оперативної пам'яті та комбінованим накопичувачем (512 ГБ SSD + 1 ТБ HDD) забезпечують достатню продуктивність для роботи з системами SCADA та HMI. Конфігурація з інтегрованою графікою INTEL HD підходить для стандартних завдань візуалізації. Монітори HP X24 діагоналлю 24 дюйми забезпечують комфортну роботу операторів з інтерфейсами керування та моніторингу. Кількість моніторів (4 шт.) дозволяє організувати мультимоніторні робочі місця або окремі пости візуалізації.

До складу контрольно-вимірювального комплексу входять центральний процесорний модуль BMXP342020 – процесорний модуль m340 з підтримкою MODBUS та ETHERNET, що забезпечує високу продуктивність обчислень та інтеграцію в мережеві системи управління.

Модулі вводу-виводу:

- 9 модулів аналогового вводу BMXAMI0800 (по 8 входів кожен) - загалом 72 аналогових входи для підключення датчиків температури, тиску, витрати та інших аналогових сигналів;
- 5 модулів дискретного вводу BMXDDI1602 (по 16 входів кожен) - загалом 80 дискретних входів для кінцевих вимикачів, кнопок та інших дискретних сигналів;
- 2 модулі дискретного виводу BMXDDO3202K (по 32 виходи кожен) - загалом 64 дискретних виходи для керування виконавчими механізмами;
- 2 модулі аналогового виводу BMXAMO0802 (по 8 виходів кожен) - 16 аналогових виходів для керування частотними перетворювачами та регулюючими клапанами.

Монтажна база та живлення складається з двох шасі BMXXBP1200 по 12 слотів кожне забезпечують монтаж всіх модулів системи з можливістю майбутнього розширення. Блоки живлення BMXCPS3020 HA 24-48V DC потужністю 31.2W забезпечують стабільне живлення модулів контролера.

Системи гальванічної розв'язки та комутації включають бар'єри іскрозахисту BI3-21-A02 забезпечують гальванічну розв'язку та захист входів системи від перенапруг та завад, що критично важливо для промислових умов експлуатації та інтерфейсні реле двох типів:

- RSL1PVBU (24V DC, 32 шт.) – для комутації постійного струму;
- RSL1PVPU (230V AC, 13 шт.) – для комутації змінного струму.



Всі реле оснащені гвинтовими клеммами, що забезпечує надійність з'єднань в умовах вібрацій.

До складу вимірювального обладнання входять вимірювальні перетворювачі струму MACX MCR-SL-CAC-5-I забезпечують перетворення струмових сигналів для контролю навантаження електродвигунів та інших споживачів.

Цифрові індикатори M4YS-NA з живленням від струмової петлі забезпечують місцеву індикацію параметрів без додаткового джерела живлення.

Виконавчі механізми представлені електропневматичними перетворювачами ITV1050-01F1N, що забезпечують точне перетворення електричного сигналу в пневматичний для керування пневматичними приводами клапанів та заслінок.

Електроживлення та захист передбачає наявність регульованого джерела живлення ABL51A24100 забезпечує стабільне живлення 24V DC потужністю 240W для польових пристроїв та виконавчих механізмів.

Автоматичні вимикачі IC60N на 6A забезпечують захист силових кіл від перевантажень та коротких замикань.

Програмне забезпечення розроблене на базі SIMATIC WINCC 512 POWERTAGS V7.5 - професійної SCADA-системи для створення операторських інтерфейсів, архівування даних та звітності. Ліцензія на 512 тегів дозволяє контролювати значну кількість параметрів технологічного процесу.

Шафа PLC забезпечує монтаж та захист контрольно-вимірювального обладнання відповідно до вимог промислової експлуатації. Настінна серверна шафа призначена для розміщення мережевого обладнання, комп'ютерів та систем безперервного живлення.

3.6 Технічне обслуговування системи автоматизації

Щотижневе обслуговування передбачає візуальний контроль обслуговуючим персоналом стану обладнання.

Періодичне обслуговування здійснюється відповідно до інструкцій експлуатуючих організацій, але не рідше одного разу на шість місяців, при цьому необхідно перевірити:

- стан контактних затискачів та кріплення;
- стан заземлення;
- цілісність корпусу;
- перевірити справність, відсутність забруднення та підгоряння контактних систем;
- відсутність світлового сигналу чи повідомлень про аварії та попереджень.

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Визначення економічної ефективності автоматизації

Кваліфікаційною роботою передбачено модернізацію АСУ ГДМ в цеху вловлювання коксохімічного заводу. Для роботи підприємства критично важливим являється забезпечення безперервності технологічного процесу. Встановлення нової системи керування спрямоване на забезпечення надійності роботи системи, підтримання стабільного очищення коксового газу та обігріву печей.

Основні економічні збитки підприємства в разі виходу з ладу існуючої системи автоматизації пов'язані з:

- 1) зупинкою роботи цеху вловлювання (відділення бензолне та сульфатне) та цеху моноетаноламінового очищення (сірчана кислота);
- 2) аварійною зупинкою ТЕЦ;
- 3) втратою продукції (кокс, бензол, сульфат амонію, сірчана кислота).

4.2 Розрахунок економічних збитків (за 1 аварійну зупинку)

4.2.1 Втрати продукції від зупинки ГДМ

Дані для розрахунку:

- 1) тривалість простою ГДМ: 1,5 год;
- 2) втрати продукції за 1 годину простою:
 - a) кокс доменний: 16,5 тис. \$/год.
 - b) бензол сирий: 0,17 тис. \$/год.
 - c) сульфат амонію: 0,07 тис. \$/год.
 - d) сірчана кислота: 164,1 \$/год.

Загальні збитки за 1 годину:

$$16,5 + 0,17 + 0,07 + 0,164 = 16,904 \text{ тис. } \$/\text{год}$$

Збитки за 1 аварійну зупинку (1,5 години):

$$1,5 \text{ год} * 16,904 \text{ тис. } \$ = 25,356 \text{ тис. } \$$$

4.2.2 Збитки через аварійну зупинку ТЕЦ

При виході з ладу ГДМ відбувається аварійна зупинка ТЕЦ:

- 1) зупиняється робота котлів;
- 2) припиняється вироблення пари, необхідної для роботи турбогенераторів;

3) припиняється генерація електроенергії, як для власних потреб, так і для продажу третім особам.

Дані для розрахунку:

1) потужність турбогенераторів: 7,3 МВт, з них:

а) на власні потреби: 5,5 МВт;

б) на продаж: 1,8 МВт.

2) ціна продажу електроенергії: 4 грн/кВт·год.

3) ціна закупівлі електроенергії: 4,7 грн/кВт·год.

4) тривалість простою ГДМ: 1,5 год.

Розрахунок:

1) збитки через відсутність продажу електроенергії третім особам:

$$1,8 \text{ МВт} * 1,5 \text{ год.} = 2,7 \frac{\text{МВт}}{\text{год}} = 2700 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Втрати доходу становитимуть:

$$2700 \frac{\text{кВт}}{\text{год}} * 4 \text{ грн} = 10800 \text{ грн} \approx 270\$$$

2) збитки через необхідність закупівлі електроенергії на власні потреби:

$$5,5 \text{ МВт} * 1,5 \text{ год.} = 8,25 \frac{\text{МВт}}{\text{год}} = 8250 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Вартість закупівлі становить:

$$8250 \frac{\text{кВт}}{\text{год}} * 4,7 \text{ грн} = 38775 \text{ грн} \approx 969\$$$

3) загальні збитки через аварійну зупинку ТЕЦ:

$$10800 + 38775 = 49575 \text{ грн} \approx 1239\$$$

4.2.3 Підсумок економічних збитків

Загальні збитки за 1 зупинку становитимуть

$$\text{Втрати продукції} + \text{втрати електроенергії} = 25356 + 1239 = 26595\$$$

4.3 Техніко-економічна оцінка витрат на впровадження системи

Вихідні дані для оцінки витрат на впровадження АСУ ГДМ наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для оцінки витрат на впровадження АСУ ГДМ

№	Найменування	Вартість, ГРН без ПДВ
1	Розробка проектної документації згідно з ТЗ	270 000,00
2	Розробка програмного забезпечення для шаф ПЛК та АРМ	150 000,00
3	Монтажні роботи по встановленню та підключенню шафи ПЛК та АРМ, пультів керування (3шт.)	125 000,00
4	Обладнання системи управління ГДМ (шафа ПЛК, шафа АРМ, АРМ (двомоніторних) – 2 комп., пульт керування з контрольним кабелем комплектно - 3комп. комунік. обладнання, обладнання для додавання в силові шафи ГДМ)	3 205 000,00
5	Пуско-налагоджувальні роботи та навчання експлуатуючого персоналу	350 000,00
6	Комплект обладнання для "холодного резервування" ПЛК (проц. модуль, по одному модулю входу/виходу кожного типу)	117 855,00
7	Загалом	4 217 855,00


Загальні витрати на впровадження АСУ ГДМ становитимуть:

$$4\,217\,855\text{грн} = 101\,089,92\$$$

Окупність системи залежить від часу та кількості аварійних зупинок ГДМ по вині системи керування.

При зупинці на 1,5 години збитки становитимуть 26595\$.

Оскільки розроблена система автоматизації повинна забезпечити стабільну підтримку розрідження та стабільний тиск коксового газу після ГДМ, а також виключити можливість нетримання стабільного розрідження, тим самим знижуючи нестабільність при відборі коксового газу, і разом з цим покращити стабільний тиск після ГДМ. Також після монтажу запропонованої системи відпаде необхідність постійного ручного корегування робочих параметрів, що знизить навантаження на робочий персонал – машиністів газодувної машини.



Система автоматизації забезпечить таку вигоду:

- 1) зменшення навантаження на персонал;
- 2) зменшення витрат на обслуговування;
- 3) забезпечення стабільної підтримки розрідження коксового газу;
- 4) зниження ймовірності аварійних ситуацій;
- 5) зменшення зносу обладнання;
- 6) підвищує виробничу безпеку;
- 7) суттєво зменшує час переходу з однієї машини на іншу.



5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ

5.1 Заходи безпеки

До монтажу та обслуговування обладнання АСК ТП ГДМ допускається персонал, що пройшов підготовку та має дозвіл відповідно до «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» та «Правил техніки безпеки під час експлуатації електроустановок споживачів» і має кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче III групи до 1000В.

Без зняття напруги допускаються такі операції для кваліфікованого персоналу: візуальна перевірка обладнання, технічних даних, пошук пошкоджень з застосуванням спеціальних приладів, перевірка маркування проводів та програмування ПЛК чи параметризація блоків живлення.

При монтажі, обслуговуванні та експлуатації АСК ТП ГДМ повинен використовуватись справний інструмент.

Обладнання АСК ТП ГДМ має бути заземлене відповідно до вимог ПУЕ.

При проведенні робіт з технічного обслуговування та ремонту обладнання ПТК АСК ТП «СК ГДМ» необхідно дотримуватися вимог безпеки, передбачених наступними документами: загальний курс "ОХОРОНА ПРАЦІ".

Під час нормальної роботи ПТК АСК ТП «СК ГДМ» двері всіх шаф з розміщеним у них обладнанням повинні бути зачинені на ключ.

До роботи з ПЗ допускається обслуговуючий персонал цеху, що має відповідну кваліфікацію, має навички роботи на комп'ютері, який пройшов навчання роботи з АСК ТП «СК ГДМ» і пройшов інструктаж з техніки безпеки при роботі на обладнанні подібного типу.


Персонал, що обслуговує обладнання АСК ТП «СК ГДМ», повинен бути ознайомлений зі схемами електричними принциповими, вивчити експлуатаційну документацію на електрообладнання, прилади та датчики, що працюють у складі системи управління, та мати відповідну технічну підготовку відповідно до вимог діючих правил з техніки безпеки при експлуатації електроустановок.

При обслуговуванні електрообладнання установки необхідно додатково керуватися документацією заводів - виробників на складові системи управління, а також документами, перерахованими у відомості експлуатаційної документації.

Умовні позначення апаратів, що використовуються в тексті, відповідають позначенням за схемами електричним принциповим.

При експлуатації обладнання АСК ТП «СК ГДМ» забороняється:

- допускати до експлуатації осіб, які не пройшли спеціальний технічний інструктаж;

- 
- проводити обслуговування та ремонт електроустаткування за наявності напруги в мережі живлення;
 - проводити зміни в налаштуваннях операційної системи комп'ютера та встановленого програмного забезпечення без погодження з розробником.

5.2 Нормативно правові акти з охорони праці

Закон України «Про охорону праці».

НАПБ А.01.001-2014 "Правила пожежної безпеки в Україні".

НПАОП 0.00-1.15-07 "Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті".

НПАОП 0.00-1.81-18 "Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском".

НПАОП 45.2-7.03-17 "Мінімальні вимоги з охорони праці на тимчасових або мобільних будівельних майданчиках".

НПАОП 0.00-1.71-13 "Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями".

НПАОП 27.1-1.06-08 "Правила охорони праці під час ремонту устаткування на підприємствах чорної металургії".

НПАОП 0.00-1.65-88 "Правила безпеки при виробництві та споживанні продуктів розділення повітря".

НПАОП 27.1-1.09-09 "Правила охорони праці у газовому господарстві підприємств чорної металургії".

НПАОП 27.1-1.10-07. Правила безпеки у газовому господарстві коксохімічних підприємств та виробництв.

НПАОП 23.1-1.01-08. Правила безпеки у коксохімічному виробництві.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було вирішено всі поставлені задачі по створенню системи автоматизації газодувних машин на коксохімічному виробництві. За результатами аналізу предметної області встановлено, що наявна автоматизована система керування ГДМ потребують модернізації.

Розроблена трирівнева система автоматизації, де нульовий є рівнем датчиків та виконавчих механізмів, перший рівень працює на програмованих контролерах, а другий – це диспетчерський рівень із SCADA-системою. Така структура дає можливість забезпечувати надійне керування критично важливими процесами, а також розширювати систему в майбутньому без повної переробки. Проведені експерименти показали, що розроблені алгоритми ПІД-регулювання можуть підтримувати розрідження коксового газу з точністю $\pm 2\%$ за час не більше 3 хвилин і з перерегулюванням до 5%. Для технічної реалізації системи обрано сучасне обладнання. Контролер Modicon M340 від Schneider Electric може обробляти до 72 аналогових входів, 16 виходів, 80 дискретних входів та 64 виходи. Час перемикання управління не перевищує однієї хвилини. Система візуалізації Simatic WinCC V7.5 зберігає дані протягом року і дозволяє створювати звіти та аналізувати тренди.


Економічні розрахунки показали доцільність впровадження системи. Одна аварійна зупинка на півтори години коштує підприємству 26595 доларів через втрату продукції та додаткові витрати на електроенергію. При загальних витратах на систему 101089,92 доларів проект забезпечує окупність після запобігання чотирьом аваріям.

Розроблена система відповідає сучасним вимогам промислової автоматизації. Вона підвищує надійність процесів, зменшує час переключення між газодувними машинами, покращує контроль параметрів і безпеку персоналу. Модульна побудова і стандартні протоколи дозволяють в майбутньому інтегрувати систему з корпоративними мережами підприємства.

Результати представленої роботи мають практичну цінність - розроблену систему можна впроваджувати на коксохімічних заводах України для підвищення ефективності виробництва і забезпечення промислової безпеки. Теоретичні напрацювання також можуть використовуватись для модернізації подібних процесів в інших галузях коксохімічної промисловості.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Liu K., Dong J. Design and Development of Intelligent Control System for Gas Collector Pressure of Coke Oven in Coal Chemical Industry. *The Italian Association of Chemical Engineering*. 2017. Vol. 59. P. 1–6.
2. He X. J., Gao Z. R., Zhang J. Development and Application on the Optimization Control System of the Gas Collector Pressure in Coke Oven. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 756-759. P. 415–419. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.756-759.415>
3. Technologies for Improvement in Coking process in Byproduct Coke Ovens – Page 1000 – IspatGuru. *IspatGuru*. URL: <https://www.ispatguru.com/technologies-for-improvement-in-coking-process-in-byproduct-coke-ovens/1000/> (дата звернення: 01.05.2025).
4. Automatic draft control system for coke plants : patent US9359554B2 United States. Published on 07.06.2016. 23 p. URL: <https://patents.google.com/patent/US9359554B2/en>.
5. Coke Plant Automation with COKEMASTER®. *ThyssenKrupp*. URL: https://ucpcdn.thyssenkrupp.com/legacy/UCPthyssenkruppBAIS/assets/files/download_1/coke_plant/cokeplant_automation_with_cokemaster.pdf (дата звернення: 01.05.2025).
6. Автоматизована система керування технологічними процесами. *PROELECTRO*. URL: <http://www.proelectro.info/content/detail/4434> (дата звернення: 01.05.2025).
7. Ісаєнко В. Впровадження нових систем автоматики і ВПЛ для ГДМ на «Запоріжжкокс». *DALGAKIRAN - промислове обладнання в Києві. Далгакіран - офіційний сайт представництва в Україні*. URL: <https://dalgakiran.ua/uk/proekti/proekti-chastotnih-peretvoryuvachiv/vprovadzhennya-novih-sistem-avtomatiki-i-vpl-dlya-gdm-na-zaporizhkoks/> (дата звернення: 01.05.2025).
8. Ісаєнко В. Впровадження ВПЧ для газодувних машин на меткомбінаті Каметсталь. *DALGAKIRAN - промислове обладнання в Києві. Далгакіран - офіційний сайт представництва в Україні*. URL: <https://dalgakiran.ua/uk/proekti/proekti-chastotnih-peretvoryuvachiv/vprovadzhennya-visokovoltного-peretvoryuvacha-chastoti-dlya-regulyuvannya-produktivnosti-gazoduvnih-mashin-na-metkombinati-kametstal/> (дата звернення: 01.05.2025).
9. ДСТУ 2226-93. Автоматизовані системи. Терміни та визначення. Чинний від 1993-01-01. Вид. офіц. Київ, 1993.
10. Modicon M340 | Schneider Electric. *Schneider Electric Global | Global Specialist in Energy Management and Automation*. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/1468-modicon-m340/> (дата звернення: 01.06.2025).
11. Стандарт АСУ ТП. Центр Експертизи АСУ ТП ТОВ «МЕТІНВЕСТ ДІДЖИТАЛ». 2020



12. Теряєв В.І. Автоматизований електропривод ч. 2: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 204 с.

13. ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах. [Чинний від 2010-01-01]. Вид офіц. Київ. 2009. (Система проектної документації для будівництва).

14. Методичні вказівки до економічної частини дипломного проекту бакалаврів за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / О.В.Суботін. Краматорськ: ДДМА, 2012.

15. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII : станом на 4 квіт. 2025 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 01.06.2025).

ДОДАТОК А СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

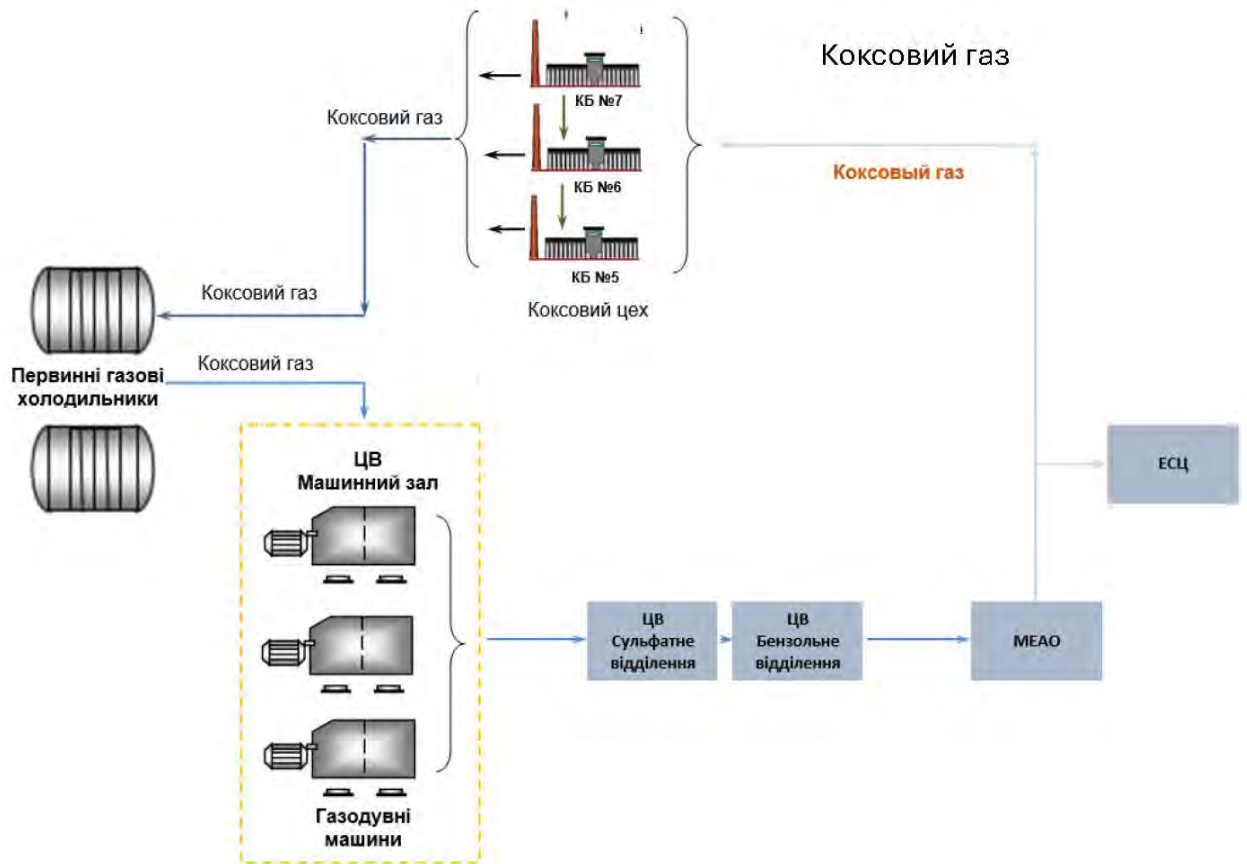


Рисунок А.1 – Схема технологічного процесу

ДОДАТОК Б ПЕРЕЛІК ОБРАНОГО ОБЛАДНАННЯ

Таблиця Б.1 – Перелік обраного обладнання

1	Комутатор 8 10/100 + 1 T/SFP LAN Lite Image WS-C2960-8TC-S	1шт
2	Настільний комп'ютер i5-10500/O3П16ГБ/SSD512ГБ/HDD1ТБ/IntelHD/W10P/DRW/KM/HDMI11M49EA	2шт
3	Монітор HP X24	2шт
4	Джерело безперервного живлення ДБЖ Smart-UPS Line Interactive, 1000VA,Rackmount 2U, 230V LCD SMT1000RMI2UC	2шт
5	Процесорний модуль M340 Modbus Ethernet BMXP342020	1шт
6	Модуль аналогового введення 8 входів BMXAMI0800	9шт
7	Модуль дискретного введення 16 входів – 24 В постійного струму BMXDDI1602	5шт
8	Модуль дискретного виведення 32 виходи -24 В DC BMXDDO3202K	2шт
9	Модуль аналогового виведення 8 виходів BMXAMO0802	2шт
10	Шасі 12 слотів - монтаж на панелі, пластині або DIN-рейці BMXXBP1200	2шт
11	Бар'єр іскрозахисту БіЗ-21-А02	3шт
12	Блок живлення X80 24..48 V DC- 31.2 W BMXCPS3020	2шт
13	Інтерфейсне реле з гвинтовими клемми 24V DC, 1C/O, 6A RSL1PVBU	32шт
14	Інтерфейсне реле з гвинтовими клемми 230V, 1C/O, 6A RSL1PVPU	13шт
15	Автоматичний вимикач іС60N, 1P, 6A, С А9F79106	2шт
16	Вимірювальний перетворювач струму MACX MCR-SL-CAC-5-I	3шт
17	Цифровий індикатор із живленням від вхідної лінії (струмової петлі) M4YS-NA	3шт
18	Регульоване джерело живлення 100-240 В AC, 24 В, 10 А, оптимізоване ABLS1A24100	1шт
19	Електропневматичний перетворювач ITV1050-01F1N	3шт
20	Програмне забезпечення Simatic WinCC 512 PowerTags V7.5	2шт
21	Шафа PLC	1шт

ДОДАТОК В ЗНІМКИ ЕКРАНІВ РОЗРОБЛЕНОЇ SCADA СИСТЕМИ

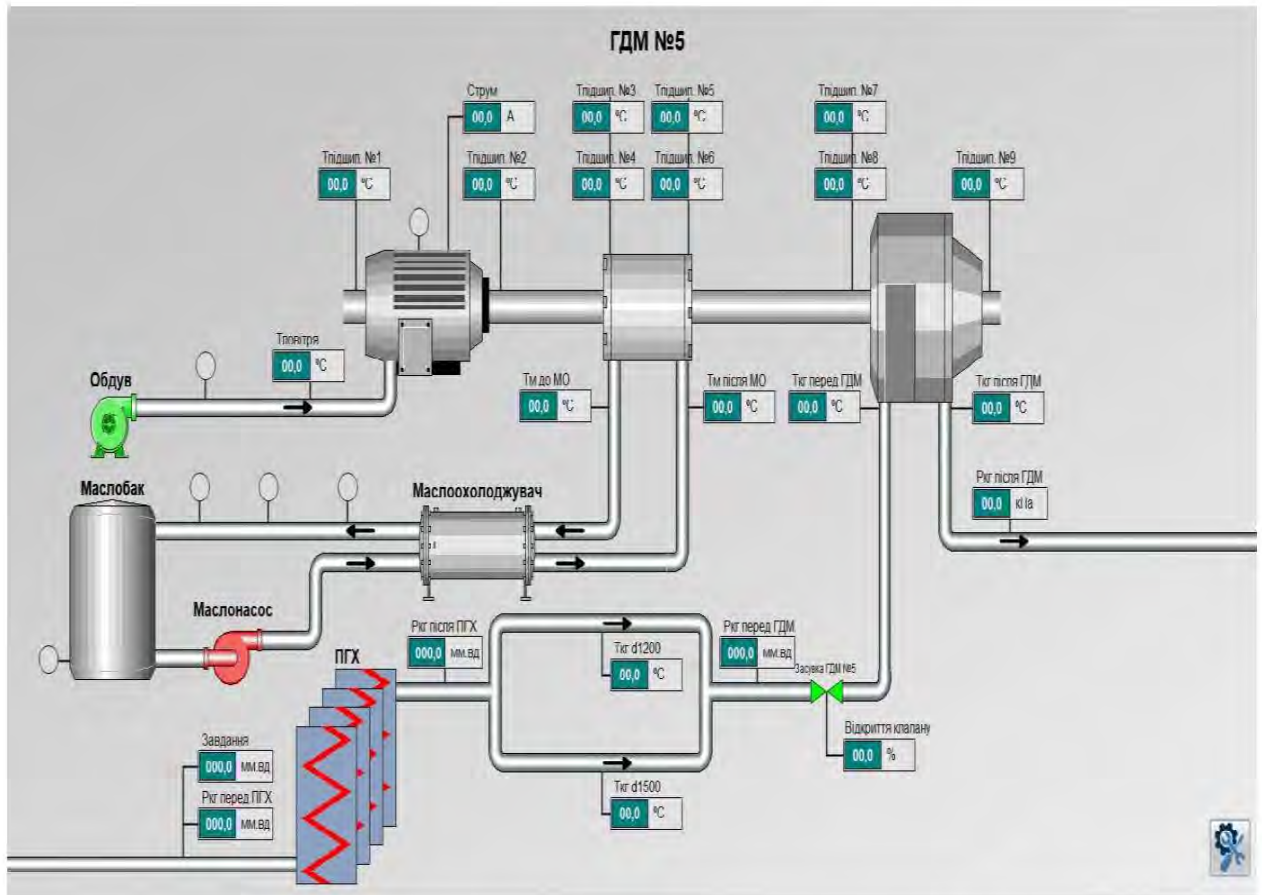


Рисунок В.1 – Інтерфейс головного вікна SCADA системи