

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

**Бакалаврська кваліфікаційна робота
(у формі проєкту) на тему:**

**«Інтегрована система автоматизації промислової котельної
установки»**

Виконав: студент IV курсу, групи АКІТР-23мс,
спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка

Максим БАРЛАДІН
« 13 » 06 2025 р.

Керівник: к.т.н., проф. кафедри АІТ
Володимир ПАПІНОВ
« 16 » 06 2025 р.

Рецензент: доцент каф. КН К.Т.Н
Валерій ДЕНИСЮК
« 16 » 06 2025 р.

Допущено до захисту:
завідувач кафедри АІТ
Олег БІСІКАЛО

« 17 » 06 2025 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 17 – «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»
Спеціальність 174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Освітньо-професійна програма Інтелектуальні комп'ютерні системи управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри АІТ

д.т.н., професор Олег БІСІКАЛО

“ ” 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Барладіну Максиму Миколайовичу

1. Тема роботи «Інтегрована система автоматизації промислової котельної установки»

керівник проекту Папінов Володимир Миколайович, к.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від « 20 » березня 2025 року № 97 .

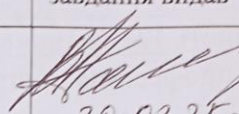
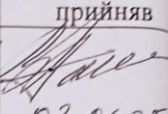
2. Термін подання студентом роботи 10 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Промислова котельня установка призначена для вироблення теплової енергії для забезпечення технологічних процесів цукрового заводу. Вихідними параметрами промислової котельної установки, що підлягають регулюванню, є тиск палива (номінальне значення $P_1=1,5$ МПа, $P_{1\max}=1,7$ МПа, $P_{1\min}=1,3$ МПа), тиск розрядження (номінальне значення $P_3=25$ Па, $P_{3\max}=30$ Па, $P_{3\min}=20$ Па), тиск повітря (номінальне значення $P_2=2$ кПа, $P_{2\max}=2,5$ кПа, $P_{2\min}=1,5$ кПа), рівень води в барабанах (номінальне значення $L_1=1000$ мм, $L_{1\max}=1010$ мм, $L_{1\min}=990$ мм) Проектування інтегрованої системи управління для промислової котельної установки доцільно виконувати на основі рекомендацій діючих стандартів в області комп'ютерно-інтегрованого промислового виробництва

4. Зміст текстової частини (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проекту. 2) Проектування технічної частини системи. 3) Проектування програмної частини системи

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1) Концепція функціональної структури інтегрованої системи автоматизації. Плакат демонстраційний 2) Автоматизована система управління технічним процесом. Схема електрична структурна. 3) Автоматизована система управління технічним процесом. Схема автоматизації функціональна.

6. Консультанти розділів проєкту

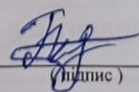
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-3	Папінов В.М., професор кафедри АІТ	 20.03.25р.	 03.06.25р.

7. Дата видачі завдання 20.03.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

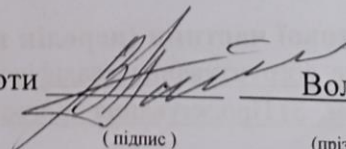
№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи (у формі проєкту)	Термін виконання		Приміт
		початок	закінчення	
1	Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту	03.10.2024	09.10.2024	
2	Розробка концепції функціональної структури інтегрованої системи автоматизації	12.03.2025	29.03.2025	
3	Розробка технічного завдання на дипломне проєктування	01.04.2025	26.04.2025	
4	Розробка електричної структурної схеми системи	29.04.2025	10.05.2025	
5	Розробка функціональної схеми автоматизації системи	13.05.2025	24.05.2025	
6	Проектування програмного забезпечення системи	27.05.2025	31.05.2025	
7	Перевірка ПЗ на відповідність вимогам	03.06.2025	07.06.2025	
8	Попередній захист, доопрацювання, та рецензування БКР	10.06.2025	15.06.2025	
9	Захист БКР	16.06.2025	23.06.2025	

Студент


(підпис)

Максим БАРЛАДІН
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Володимир ПАПІН
(прізвище та ініціали)

Анотація

Бакалаврська кваліфікаційна робота у формі проекту складається з 78 сторінок формату А4, на яких є 27 рисунків, 6 таблиць, список використаних джерел містить 29 найменувань.

Метою роботи є пошук концептуального рішення інтегрованої системи автоматизації (ІСА) для промислової котельної установки, побудованої на основі комплексної системи автоматизації її основного технологічного процесу.

У загальній частині роботи проведений аналіз існуючих аналогічних систем автоматизації, обґрунтована концепція більш досконалої інтегрованої системи автоматизації промислової котельної установки та розроблено технічне завдання на проектування автоматизованої системи управління технічним процесом (АСУТП). В розрахунково-конструкторській частині роботи спроектована технічна частина АСУТП (схема функціональної структури, електрична структурна схема, функціональна схема автоматизації) та програмне забезпечення робочої станції оператора АСУТП (схема даних, загальна архітектура, окремі програмні модулі, графічний ЛМІ).

Ключові слова: інтегрована система автоматизації, автоматизована система управління технічним процесом, котельна установка

Abstract

Bachelor's qualification work in the form of a project consists of 78 pages of A4 format, which contain 27 figures, 6 tables, the list of used sources contains 29 items.

The purpose of the work is to find a conceptual solution for an integrated automation system (ISA) for an industrial boiler plant, built on the basis of a comprehensive automation system for its main technological process.

In the general part of the work, an analysis of existing similar automation systems is carried out, the concept of a more advanced integrated automation system for an industrial boiler plant is substantiated, and a technical task for the design of an automated process control system (APCS) is developed. In the design and calculation part of the work, the technical part of the APCS (functional structure diagram, electrical structural diagram, functional automation diagram) and the software of the APCS operator's workstation (data diagram, general architecture, individual program modules, graphical LMI) are designed.

Keywords: integrated automation system, automated process control system, boiler plant

Зміст

Вступ.....	3
1 Техніко – економічне обґрунтування кваліфікаційного проекту.....	5
1.1 Аналіз технічного процесу, що підлягає автоматизації.....	5
1.2 Аналіз існуючих аналогічних АСУ технічним процесом.....	7
1.3 Вимоги діючих стандартів до проектування ІСА виробництва	18
1.4 Обґрунтування концепції побудови нової ІСА.....	22
2 Проектування технічної частини системи.....	30
2.1 Деталізація функціональної структури системи	30
2.2 Електрична структурна схема системи	31
2.3 Функціональна схема автоматизації системи	32
3 Проектування програмної частини системи.....	43
3.1 Вибір інструментальної системи проектування	43
3.2 Схема даних програмного забезпечення ПК оператора	45
3.3 Розробка стратегії управління в середовищі SCADA «Genie».....	47
3.4 Проектування графічного ЛМІ оператора	55
3.5 Програмне забезпечення для формування звітності	59
Висновки	63
Література	64
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу (у формі проекту).....	67
Додаток Б (обов'язковий) Графічна частина.....	72
Концепція функціональної структури інтегрованої системи автоматизації. Плакат демонстраційний	73
Автоматизована система управління технічним процесом. Схема електрична структурна	74
Автоматизована система управління технічним процесом. Схема автоматизації функціональна	75
Додаток В (довідковий) – Стратегія управління котельною установкою в редакторі задач SCADA «Genie».....	76
Додаток Г (довідковий) – Основний екран графічного ЛМІ оператора АСУТП	77
Додаток Д (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи ..	78

					08-31.БДР.002.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Барладін М.М.			Інтегрована система автоматизації промислової котельної установки. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Папінов В.М.						
Реценз.						ВНТУ, гр. АКІТР-23мс		
Н. контр.		Овчинников К.В.						
Затверд.		Бісікало О.В.						

Вступ

На протязі останніх 30 років перехід від автономних розподілених систем управління (РСУ) до інтегрованих систем автоматизації (ІСА) промислового або сільськогосподарського виробництва у цілому в масштабах підприємства, холдингу або об'єднання став стійкою тенденцією в області промислової автоматизації. Передумовою цього процесу став поточний рівень розвитку усіх апаратно-програмних засобів автоматизації, який досягнутий на основі принципів міжнародної стандартизації та уніфікації [1].

Економічною причиною інтеграції є прагнення керівників підприємств шукати реальні додаткові джерела підвищення економічної ефективності виробничої діяльності підприємства. На кожному підприємстві такі джерела є, треба тільки вміти їх знайти, а для цього необхідно забезпечити збір, обробку і аналіз інформації оперативних даних з усіх технологічних і виробничих ділянок. Саме оперативної, а не в кінці зміни, робочого дня або місяця. Для того, щоб керувати собівартістю продукції треба поряд з інформацією про вартість сировини і робочої сили знати скільки сировини, електроенергії, пари, води і палива пішло на виготовлення кінцевої продукції.

Будь-яке промислове або сільськогосподарське виробництво створюється на конкретному технологічному або технічному процесі, завдяки чому він вважається основним. Саме тому створення ІСА даного виробництва у першу чергу вимагає впровадження комплексної автоматизації його основного технологічного/технічного процесу [2]. Така комплексна автоматизація дозволяє значно зменшити вплив людського фактору на якісні показники як управління основним технологічним процесом, так і всім виробничим процесом, побудованим на його основі. В результаті система автоматизація основного технологічного процесу стає надійним фундаментом для подальшої побудови інтегрованої системи управління всім виробництвом, яка об'єднує усі взаємопов'язані процеси виробництва, керуючи ними як єдиним цілим для досягнення поставлених перед виробництвом кількісних та якісних завдань.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи у формі проєкту є пошук концептуального рішення інтегрованої системи автоматизації промислової котельної установки, побудованої на основі комплексної системи автоматизації її основного технічного процесу.

Нова інтегрована система автоматизації призначається для роботи у складі інтегрованої системи автоматизованого управління великим сільськогосподарським переробним підприємством.

Об'єктом розробки є процес управління виробничою діяльністю по промислому виробництву теплової енергії на великому сільськогосподарському переробному підприємстві.

Предметом розробки є автоматизація процесу управління виробничою діяльністю великого сільськогосподарського переробного підприємства шляхом застосування інтегрованої системи автоматизації.

Для досягнення мети розробки мають бути вирішені такі задачі:

1. Техніко – економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту.
2. Розробка концепції інтегрованої системи автоматизації.
3. Розробка технічного завдання на кваліфікаційне проєктування.
4. Розробка електричної структурної схеми системи.
5. Розробка функціональної схеми автоматизації системи.
6. Проєктування програмного забезпечення системи

Інноваційна новизна отриманих результатів полягає в тому, що на відміну від існуючих, нова інтегрована система управління спроектована з урахуванням рекомендацій діючих міжнародних стандартів в області комп'ютерно-інтегрованого виробництва, що дозволило суттєво зменшити її загальну вартість за рахунок раціонального проєктного рішення системи як на рівні управління виробництвом, так і на рівні управління основним технічним процесом.

Практична цінність отриманих результатів проєктування полягає в тому, що завдяки раціональності проєктних рішень системи, її легко реалізувати на підприємстві навіть власними силами фахівців ІТ та КВПіА відділків.

Апробація результатів проєктування: концептуальні результати виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи у формі проєкту опубліковані в матеріалах LIV науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2025) [3].

Розробка інтегрованої системи автоматизації промислової котельної установки виконувалась на основі індивідуального завдання, виданого кафедрою АІТ, та складеного технічного завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу у формі проєкту (додаток А).

1 Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту

1.1 Аналіз технологічного процесу, що підлягає автоматизації

Цукровий завод є складним, енергоємним об'єктом з безперервним технологічним циклом. Для забезпечення виробництва цукру тепловою й електричною енергією цукрові заводи мають власні ТЕЦ [4, 5]. Навіть короточасні перебої подачі енергії на виробництво спричиняють зупинку заводу й величезні втрати. Для виробництва технічної пари ТЕЦ заводу оснащується котельною установкою того чи іншого типу. Типова технологічна схема промислової котельної установки наведена на рисунку 1.1.

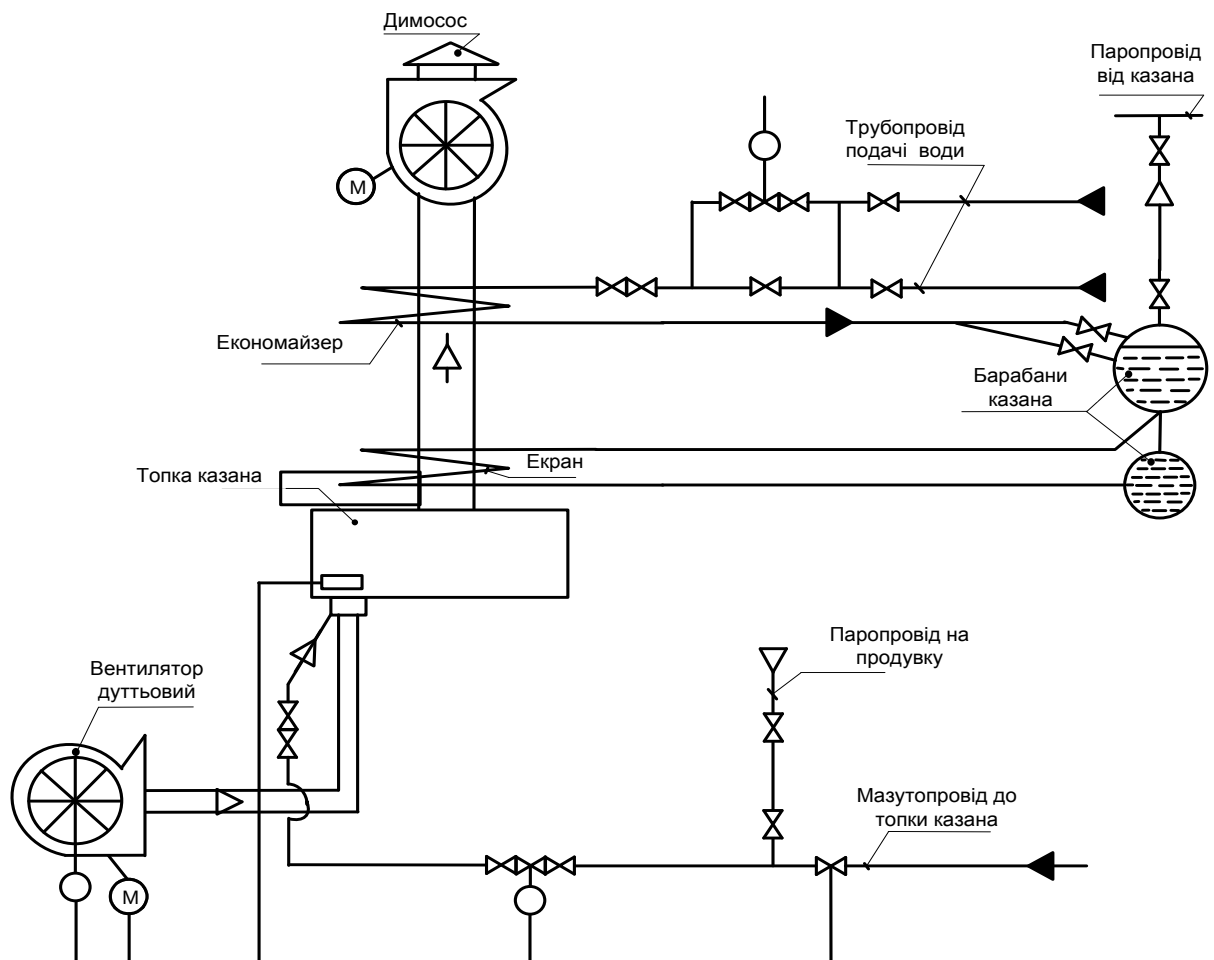


Рисунок 1.1 – Технологічна схема промислової котельної установки

Одержання технічної пари з води складається з таких фізичних процесів:

- підігріву води до температури кипіння;

- підтримання кипіння води, коли рідка фаза переходить у насичену пару.

Необхідне для цього тепло виділяється при згоранні палива в топковій камері (топці) казана. Передача тепла від продуктів згорання до поверхонь нагрівання відбувається в результаті усіх видів теплообміну: теплопровідного, конвективного і радіаційного [6-8].

Підігрів води відбувається в економайзері, а паротворення в екранах. Кожний із цих конструктивних елементів котельної установки бере участь у перетворенні теплоти згорання палива в теплову енергію водяної пари. Теплообмін в усіх цих елементах відбувається при високих температурах стінок поверхонь нагрівання, що знаходяться одночасно і під дією води або пари. Важкі умови роботи висувають особливі вимоги до підтримки температури металу стінок труб у допустимих межах за умовами міцності. Це досягається шляхом створення постійного руху води і пари усередині трубної системи котельної установки за рахунок різниці питомих ваг вказаних компонентів.

Процес одержання технічної пари протікає наступним чином. Відцентровими насосами вода безупинно подається в барабан казана, її тиск вище тиску вироблюваної пари. Перед тим, як потрапити в барабан казана, вода проходить через економайзер, підігріваячись там до температури кипіння. Барабан казана служить розподільником гарячої води і збірником утворюючої пари. За допомогою випускних (неопалювальних) труб вода з барабану поступає у нижні колектори, до яких приєднуються труби екранів, що встановлені вертикально біля внутрішніх стінок топкової камери. Другим кінцем екранні труби приєднуються до барабанів казана. Як вже говорилося, екранні труби представляють собою поверхню нагрівання казана і призначені для одержання пари, крім того, вони захищають стінки топкової камери від впливу високих температур і шкідливого впливу розплавленої золи. У результаті радіаційного нагрівання екранних труб вода, що знаходиться в них, закипає, і бульбашки пари, що утворилися, прямують вгору, тягнучи за собою ще воду, що не скипіла. У напрямку до барабана казана в трубах екрана утворюється потік пароводяної суміші. Так як гідростатичний тиск пароводяної суміші (емульсії) в екранних трубах менший, ніж вага стовпа води в опускних трубах, то в замкнутій гідравлічній системі (барабан казана – випускні труби – нижні колектори – екранні труби – барабан казана) утворюється стійкий рух – природна циркуляція [6-8].

Отже, продукти згорання, що утворюються в результаті горіння палива, спочатку охолоджуються в топковій камері, віддаючи тепло радіацією екранним трубам, потім вони охолоджуються за рахунок конвекції, проходячи економайзер. Димові гази (продукти згорання) із топки всмоктуються димососом і викидаються через димар в атмосферу. Для забезпечення нормального режиму горіння палива в топку вентилятором подається повітря.

Таким чином, під час роботи казана відбувається подача палива і повітря до його топки, відсмоктуються димові гази, а у барабан казана подається живильна вода та звідти відбирається технічна пара.

1.2 Аналіз існуючих АСУ технічним процесом

Метод регулювання процесу горіння визначається в першу чергу засобом спалювання палива і конструкцією топкового пристрою (топки) казана [6-8].

Типові засоби автоматизації котельної містять у собі [9]:

- первинні перетворювачі регулювальних приладів, виконавчі механізми і регулюючі органи контурів регулювання;
- показуючі та реєструючі прилади теплотехнічного контролю;
- прилади автоматики, що сигналізують небезпеку.

Типова функціональна схема автоматизації є основним технічним документом, що визначає структуру і характер автоматизації технологічних процесів і оснащення їх приладами і засобами автоматизації.

На функціональних схемах повинно бути показане:

- спрощене зображення технологічного устаткування, що підлягає автоматизації, трубопроводів, арматури;
- основні пристрої, первинні і вторинні вимірювальні прилади і регулятори, виконавчі механізми, регулюючі запірні органи з приводами;
- апаратура управління і сигналізації і взаємні зв'язки між ними.

На рисунку 1.2 наведена функціональна схема автоматизації типової системи управління котельною установкою цукрового заводу [9]. Проведемо аналіз окремих контурів регулювання, що передбачені цією схемою.

Контуром №1 типової схеми автоматизації є контур регулювання розрідження в топці казана. На цей контур регулювання покладається задача підтримки постійного розрідження в діапазоні від 0 до 50 Па із високою точністю. Конкретна величина розрідження залежить від конструкції топки і місця відбору реальної величини розрідження. У різних по висоті зонах топки розрідження не однакове. Основна вимога до регулятора розрідження - максимально можлива швидкодія, тому що топка як об'єкт регулювання розрідження є практично безінерційним об'єктом. При збільшенні кількості повітря, що подається до топки, розрідження в топці зменшується, одночасно знижується надходження повітря через нещільності стінок обладнання та трубопроводів топки. Це говорить про значний ступінь самовирівнювання топки як об'єкта регулювання розрідження.

Із сказаного випливає, що регулювання розрідження може бути простим за законом регулювання. Реальне значення розрідження вимірюється зазвичай у верхній частині топки.

В типовій системі автоматизації застосований датчик розрідження

типу Сапфір 22ДИВ-2310-01-УХЛ*3.1-0,5/0,125 кПа-0.5 (позиція 1а), який перетворює величину розрідження в сигнал, що надходить у вимірювальну схему регулятора типу РС29.1.12 (позиція 1). Сигнал перетворюється, посилюється і через трипозиційний підсилювач типу У29.3 (позиція 1б) подається на вхід електричного виконавчого механізму типу МЭО 250.25-0,25Р (позиція 1в). Виконавчий механізм з'єднаний механічними тяжами з направляючим апаратом димососу.

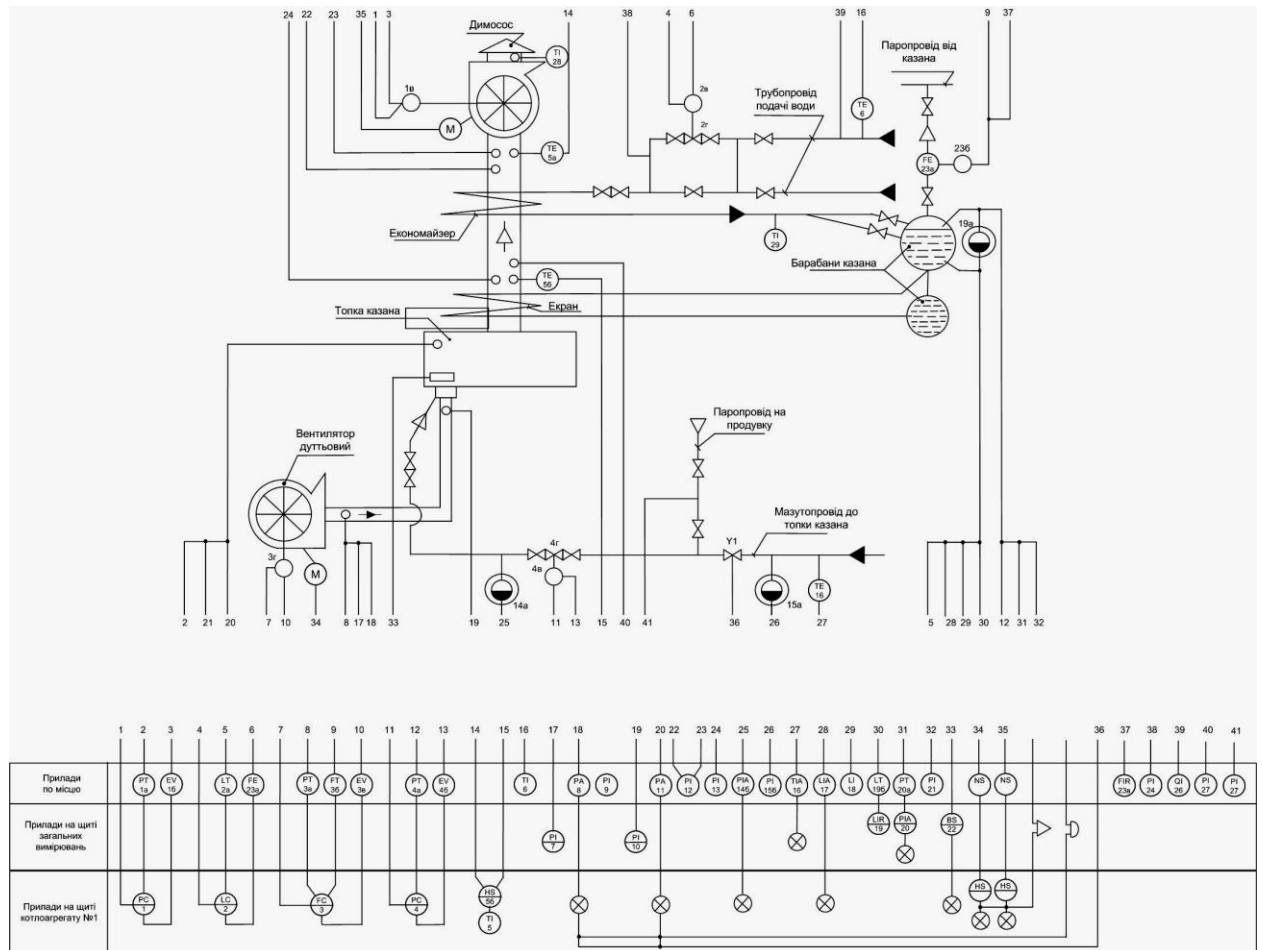


Рисунок 1.2 – Типова схема автоматизації котельної установки

В залежності від величини розрідження виконавчий механізм змінює положення направляючого апарату димососу. При цьому розрідження встановлюється до величини номінального (оптимального) значення.

Контуром №2 типової схеми автоматизації є контур регулювання подачі води до казана. При цьому контролюється такий параметр як рівень води в барабані казана, який відноситься до числа основних регульованих параметрів типової системи управління. З огляду на те, що до якості пари на промислових підприємствах не ставлять жорстких вимог, то такий параметр, як рівень води в барабані казана, відіграє більш важливу роль, ніж інші регульовані параметри системи управління.

На контур регулювання рівня води в барабані казана покладається задача підтримки його номінального значення незалежно від витрат технічної пари. У рівноважному стані процес регулювання характеризується рівністю між надходженням води до барабану (її об'ємом, що подається через вхідний трубопровід) і витратою пари з нього (об'єм води, що знаходиться у парі, яка виводиться з барабану для подальшого використання). Якщо ця умова виконується, то рівень у барабані буде незмінним. Відхилення рівня від номінального значення відбувається при порушенні балансу між притокою води і витратою пари, а також при зміні складу пароводяній суміші (ефект «набрякання» котлової води). Надмірна подача води до казана призводить до перевищення тиску пари в барабані, а також до витоку води в паропровід і до подальшого гідравлічного удару на екранні труби. У разі розриву екранних труб казан виходить з ладу. Тому за типовою схемою автоматизації відхилення рівня води в барабані казана від номінального значення не повинно перевищувати всього на всього величини ± 90 мм.

В основу типової схеми регулювання рівня води покладений одноімпульсний ізодромний регулятор, налаштований таким чином, що він повертає рівень у вихідне номінальне значення незалежно від збурення (витрати пари на виході казана).

Датчиком регулятора рівня служить дифманометр Сапфір-22ДД-2420-01-УХЛ*31-0,5/6,3кПа-0.5 (позиція 2а), який за допомогою зрівняльної посудини з'єднаний з ємністю барабану казана. Електричний сигнал, пропорційний рівню в барабані казана, від дифманометра надходить на регулюючий прилад типу РС29.1.12 (позиція 2). Регулятор перетворює і посилює його, і у вигляді управляючого аналогового сигналу подає через підсилювач позиційний типу У29.3 (позиція 2б) на електричний виконавчий механізм типу МЕО 250/25-0,25Р (позиція 2в). Виконавчий механізм з'єднаний механічними тягами з регулюючим клапаном (позиція 2г) трубопроводу подачі води в барабан казана.

При підвищенні рівня в барабані казана подача води зменшується і навпаки. При цьому рівень у барабані казана досягає сталого номінального значення.

Контуром №3 типової схеми автоматизації є контур регулювання подачі повітря до топки казана. Регулювання подачі повітря в топку казана зводиться, з одного боку, до забезпечення найбільш ощадливого режиму горіння палива, а з другого боку, до забезпечення необхідного для горіння об'єму повітря. Показником такої відповідності є коефіцієнт надлишку повітря. Надлишок повітря призводить до зростання втрат тепла з вихідними газами, а недостатній об'єм повітря – до неповного згорання палива. У обох випадках коефіцієнт корисної дії котла знижується. Оптимальний коефіцієнт надлишку повітря визначається при теплових іспитах теплового агрегату.

Для казанів в основному застосовуються дві схеми регулювання економічності процесу горіння (регулювання подачі повітря), а їхня

структура залежить від засобу вимірювання тепла. У схемах “паливо-повітря” витрата повітря регулюється у визначеному співвідношенні до витрати палива. Але для цього необхідно точне вимірювання витрат палива, що можливо зробити тільки при роботі казана на газі. Навіть у цьому випадку економічне протікання процесу горіння потребує постійних значень тиску і теплотворної здатності газу. Ця схема може бути рекомендована для усіх казанів, що спалюють газ як при постійному, так і при змінному навантаженні. Досвід показує, що схема “паливо-повітря” не дає позитивних результатів при роботі казанів на мазуті і тим більше на твердому паливі. Другим контрольованим параметром у регуляторі подачі повітря за схемою “паливо-повітря” є тиск цього повітря.

У схемах “пар-повітря” регулятором повітря підтримується необхідне співвідношення витрат пари і повітря. Оскільки одним з контрольованих параметрів цього регулятора є витрата пари від казана, то в сталому стані регулятор подачі повітря за схемою “пар-повітря” забезпечує оптимальну підтримку надлишку повітря в топці.

При перехідних режимах завдяки інерційності казана зміна витрати палива не відразу позначається на виробітку пари, а тому пропорційність між витратою палива і виробленням пари порушується. У зв'язку з цим, на казанах із різким змінним навантаженням цю схему рекомендувати не можна, тому що економічного процесу горіння вона не забезпечить.

Вказана схема частіше застосовується на казанах, що спалюють мазут, де оцінити кількість палива, що надходить, не можна навіть приблизно.

Виникають труднощі при безпосередньому вимірюванні витрат мазуту. Ці особливості мазуту, як виду палива, призводять до того, що для забезпечення економічного його згорання на регулятор подачі повітря в якості основного контрольованого параметру подається значення поточної витрати пари. Другим контрольованим параметром виступає поточний тиск повітря.

У якості датчиків витрат пари і тиску повітря використовується датчик типу Сапфір 22ДД-2430-01-УХЛ*3.1-0,5/2 кПа-0,5 (позиція 3а). Електричні сигнали від цих датчиків, пропорційні, відповідно, витраті пари і тиску повітря, надходять на регулятор подачі повітря типу РС 29.1.12 (позиція 3). Регулятором сигнали алгебраїчно складаються, перетворюються за заданим алгоритмом й у вигляді результуючого управляючого сигналу надходять на виконавчий механізм типу МЭО 250/25-0,25Р (позиція 3г) через трипозиційний підсилювач типу У29.3 (позиція 3в). Виконавчий механізм з'єднаний механічними тягами з направляючим апаратом дуттьового вентилятора. Регульовані параметри витрати пари і тиску повітря, що змінюються, призводять в остаточному підсумку до зміни положення пластин направляючого апарата дуттьового вентилятора, змінюючи витрати повітря, що подається для горіння в топку в залежності від знаку сигналу, що надійшов.

Контуром №4 типової системи автоматизації є контур регулювання подачі палива до топки казана. Регулювання подачі палива до топки ведеться так, щоб в кожен момент часу в ній згорало стільки палива, скільки його необхідно для покривання витрат пари при незмінному тиску в барабані казана. Інакше кажучи, тиск пари в барабані казана зберігається постійним при наявності балансу між підведенням тепла в топку і відведенням його з парою.

Якщо при згорянні палива виділяється більше тепла, ніж це потрібно для виробництва кількості пари, що в даний момент необхідна для технологічних процесів цукрового заводу, то зайве тепло буде акумулюватися в казані, що призведе до зростання тиску пари в барабані.

Навпаки, якщо паливо подається в недостатній кількості, то потреба в парі покривається за рахунок тепла, акумульованого в котловій воді, що призводить до падіння тиску пари в барабані казана.

При порушенні теплового балансу за умови, що кількість палива і його якість залишалися незмінними, змінюється тільки навантаження на казан. У такий спосіб змінюється тиск пару в барабані казана пропорційно алгебраїчній різниці між підведенням тепла в топку і відведенням його з парою.

З огляду на те, що калорійність палива, тепловміст пари і води та коефіцієнт корисної дії казана в процесі експлуатації практично не змінюються, то зміна тиску пари буде в основному залежати від кількості палива, яке подається в топку, і від витрати пари на виході казана. Таким чином, зміну тиску пари в барабані казана можна використовувати в якості контрольованого параметру для регулювання подачі палива, а стало бути і повітря, що подається у топку.

Тиск пари необхідно стабілізувати у досить вузьких межах для того, щоб забезпечити економічну і надійну роботу енергетичної установки. Зміна тиску пари відбувається через якийсь час після подачі палива, це запізнювання відбувається через інерційність топки і досягає 10-30 секунд.

Для ліквідації зовнішніх збурень (збурення, пов'язані зі зміною навантаження) вимірювання тиску пари варто виконувати на загальному паровому колекторі, а для ліквідації внутрішніх збурень (збурення, пов'язані із випадковою зміною подачі палива, зносом регулюючих органів і т.д.) – на барабані казана.

Із сказаного випливає, що в тому випадку, коли споживач потребує подачі пари суворо визначеного тиску, відбір тиску для регуляторів пари варто виконувати від загальної парової магістралі, якщо ж таких жорстких вимог не висувається, то відбір тиску береться від барабана казана. Змінюючи подачу палива, регулятор тиску пари (регулятор палива) змінює навантаження казана відповідно до потреби в парі, виконуючи в такий спосіб призначення регулятора навантаження.

У зв'язку з тим, що в нашому випадку казан є відносним, імпульс по

тиску пари береться в барабані казана.

Датчик тиску пари Сапфір 22ДИ-2151-01-УХЛ*3.1-0,5/2,5 МПа-0.5 (позиція 4а), перетворює значення тиску пари в електричний сигнал. Регулятор палива типу РС 29.1.12 (позиція 4), відпрацьовуючи сигнал, посилює і перетворює його, подаючи через підсилювач типу У29.3 (позиція 4б) на електричний виконуючий механізм типу МЕО 250/25-0,52 Р (позиція 4в). Привод виконавчого механізму управляє регулюючим клапаном, установленим на трубопроводі подачі мазуту в топку.

Аналіз описаної типової схеми автоматизації казана ТЕЦ цукрового заводу дозволяє виділити її основні недоліки:

- застарілість засобів автоматизації, що використовуються для збору, передавання й обробки інформації;
- низька надійність застосованих приладів;
- великі похибки вимірювання параметрів на місці (на технологічному обладнанні) та передавання цієї інформації на щит оператора (на відстань до 400 – 500 м);
- слабка гнучкість системи управління, складність налагоджувуння та переналагоджувуння системи;
- неефективність засобів відображення результатів контролю та управління, слабе інформаційне забезпечення оператора, невідповідність сучасним ергономічним вимогам;
- відсутність засобів автоматичного документування інформації;
- неможливість інтегрування в сучасні комп'ютерні системи управління виробництвом (відсутність інформаційної взаємодії з верхнім рівнем управління).

Виходячи саме з цих недоліків, з початку 90-х років минулого сторіччя стали розроблятися та активно впроваджуватися на цукрових заводах країн СНД більш ефективні мікропроцесорні та комп'ютеризовані системи управління. На даний момент їх кількість і якість значно зросли [10-18]. Загальна конфігурація цих систем, як правило, дворівнева. Внутрішній устрій систем відрізняється лише типами застосованих апаратних засобів автоматизації, а також їх системним, інструментальним та прикладним програмним забезпеченням. Розглянемо і проаналізуємо кілька сучасних прикладів реалізації таких систем.

В 2006 р. завершене будівництво й запущений в роботу новий цукровий завод ім. Алієва в м. Імішли (республіка Азербайджан). Фахівцями філії «ЧП Укрсахартехенергоремонт» ВАТ «АК САТЭР» була розроблена й уведена в експлуатацію АСУТП ТЕЦ цього заводу [16].

Задачі АСУТП полягали в оснащенні обладнання ТЕЦ засобами контролю, автоматичного управління, регулювання, сигналізації й захисту, що дозволяють забезпечити вимоги технології й техніки безпеки, підвищити продуктивність праці й забезпечити безпечну роботу обслуговуючого персоналу. Для рішення поставлених задач була створена сучасна система

автоматизації всім основним і допоміжним устаткуванням ТЕЦ із головним щитом управління, який інформаційно пов'язаний із центральним диспетчерським пультом управління заводом. По обсягу автоматизації система відповідає всім вимогам, які пред'являються до енергетичних об'єктів відповідно до нормативних документів. Крім того, у системі передбачений ряд додаткових функцій для зручної роботи обслуговуючого персоналу: реєстрація додаткових параметрів для поліпшення аналізу роботи обладнання, автоматизоване формування звітів і ін.

АСУТП ТЕЦ побудована за принципом розподіленої й багаторівневої системи управління. У ній передбачений контроль технологічних параметрів як по місцю (приладами прямої дії), так і за допомогою передавальних перетворювачів і вторинних приладів, установлених на щитах біля обладнання (щити контрольно-вимірювальних приладів та автоматики - КВПіА) й на головному щиті управління ТЕЦ. Управління виконавчими механізмами можливе як вручну, так і автоматично із щитів КВПіА. Всі сигнали про параметри й стан обладнання, що надходять у керуючі контролери, передаються на сервер і записуються в базу даних (БД). До сервера підключені автоматизовані робочі місця (АРМ) операторів для спостереження за технологічними параметрами відповідного обладнання.

Автоматичне регулювання, сигналізація, логіка захистів і блокувань реалізовані на рівні контролерів, які працюють незалежно від верхнього рівня. В якості контролерів й модулів ПЗО на нижньому рівні застосовані промислові контролери ЛОГИКОНТ-S200 фірми «Икс-техно» (м. Київ), об'єднані інтерфейсом RS-485, а на верхньому рівні - SCADA-система TRACE MODE 6.0 фірми Adastr.

Система автоматизації побудована в основному з використанням технічних засобів українського й російського виробництва: датчиків температури ТСП і ТХА; перетворювачів тиску МИДА й перепаду тиску Метран; вимірників-регуляторів ТРМ; вимірювачів напору НМП і тягових вимірювачів напору ТНМП; датчиків-реле напору DG і DL; електроконтактних манометрів ДМ (ЭКМ); датчиків контролю полум'я S 200-SF02; виконавчих механізмів типу МЭО.

Казан містить шість контурів автоматичного регулювання: рівня води в барабані, тиску пари при роботі на мазуті, співвідношення паливо-повітря, температури перегріву пари, розрідження в топці, безперервної продувки циклонів.

Система захисту автоматично зупиняє казан при порушенні наступних параметрів: рівень у барабані вище/нижче припустимого; тиск пари вище припустимого; температура пари вище/нижче припустимої; тиск мазуту перед пальниками нижче припустимого; тиск газу перед пальниками нижче/вище припустимого; тиск повітря на пальники нижче припустимого; розрідження в топці нижче припустимого; вгасання полум'я; зупинка вентилятора або димососа.

Інформаційна частина системи автоматизації ТЕЦ складається із двох серверів: основного і резервного, які здійснюють збір, обробку й зберігання інформації про стан і зміну параметрів технологічного обладнання, а також п'яти станцій клієнтів (АРМ операторів) для спостереження за технологічним процесом (ТП), переглядом історії й одержання звітів. Режим перемикавання резервування здійснюється на рівні OPC. Архівування технологічної інформації здійснюється за допомогою убудованої в Trace Mode 6 промислової СУБД РЧ SIAD/SQL. Архівна інформація з SIAD/SQL передається на АРМ операторів для відображення і генерування звітів.

АСУТП забезпечила повний набір функцій контролю й управління технологічним обладнанням ТЕЦ заводу. Використання таких АСУТП дозволило значно скоротити витрати на будівництво об'єкта й зменшити використовувані площі. У процесі експлуатації також досягнуто істотну економію енергоресурсів, більш високу продуктивність і поліпшення безпеки експлуатації ТЕЦ.

Закрите акціонерне товариство "Северодонецьке науково-виробниче об'єднання "ІМПУЛЬС" вже тривалий час спеціалізується на модернізації застарілих систем управління такими технологічними ділянками, як випарна установка, фільтрація, дефекосатурація та ТЕЦ [17].

Розглянемо побудову нової системи управління ТЕЦ на прикладі АСУ ТП ТЕЦ Лучанського цукрового заводу. Розробка цієї АСУ ТП була спрямована на оптимізацію виконання основної задачі ТЕЦ - забезпечення безперебійного постачання цукрового заводу електричною й тепловою енергією в період цукроваріння з мінімальною витратою енергоресурсів, мінімізацію виробничих і експлуатаційних витрат, а також виконання вимог по охороні навколишнього середовища й забезпечення безпечної експлуатації обладнання.

Основним об'єктом автоматизації на ТЕЦ є котлоагрегат типу БМ-35М з робочим тиском пари 39 атм., температурою перегрітої пари 440 °С і витратою 35 т/годину. Введена в експлуатацію в серпні 2005 р. АСУ ТП задовольняє всім пред'явленим до неї вимогам. Ця система виконує автоматизоване управління котлоагрегатом ТЕЦ і допоміжним устаткуванням у всіх режимах їхньої роботи з рішенням задач мінімізації витрати енергоресурсів і забезпеченням необхідного рівня технологічних захистів і захистів обладнання.

З метою досягнення необхідних характеристик (по продуктивності, надійності й живучості) АСУ ТП ТЕЦ реалізована на базі мікропроцесорних технічних і програмних засобів серії МСКУ М. Вони забезпечують можливість проектного компонування резервованих програмно-технічних комплексів необхідної структури, надійності, швидкості реакції на подію, продуктивності, працездатності в жорстких умовах експлуатації, у тому числі в умовах пожежезабезпечених об'єктів.

Розроблена АСУ ТП є блочно-модульною системою з мережною

резервованою структурою, що забезпечує автоматичну переконфігурацію й працездатність при відмовах окремих її компонентів.

Структурна схема системи наведена на рисунку 1.3. Система має два рівні, зв'язані між собою по дубльованій магістральній промисловій мережі МАПС. Нижній рівень реалізований на базі замовлених конфігурацій МСКУ із внутрішнім резервуванням (дублюванням) обладнання. МСКУ забезпечують безпосереднє управління енергетичними агрегатами і їхніми захистами.

Верхній рівень являє собою взаєморезервовані робочі місця операторів, реалізовані на базі персональних ЕОМ (ПЕОМ). На верхньому рівні виконується обробка поточної інформації, розрахунки оптимального управління агрегатами й ТЕЦ у цілому, формуються команди й завдання для МСКУ, а також забезпечується представлення інформації операторам і її реєстрація.

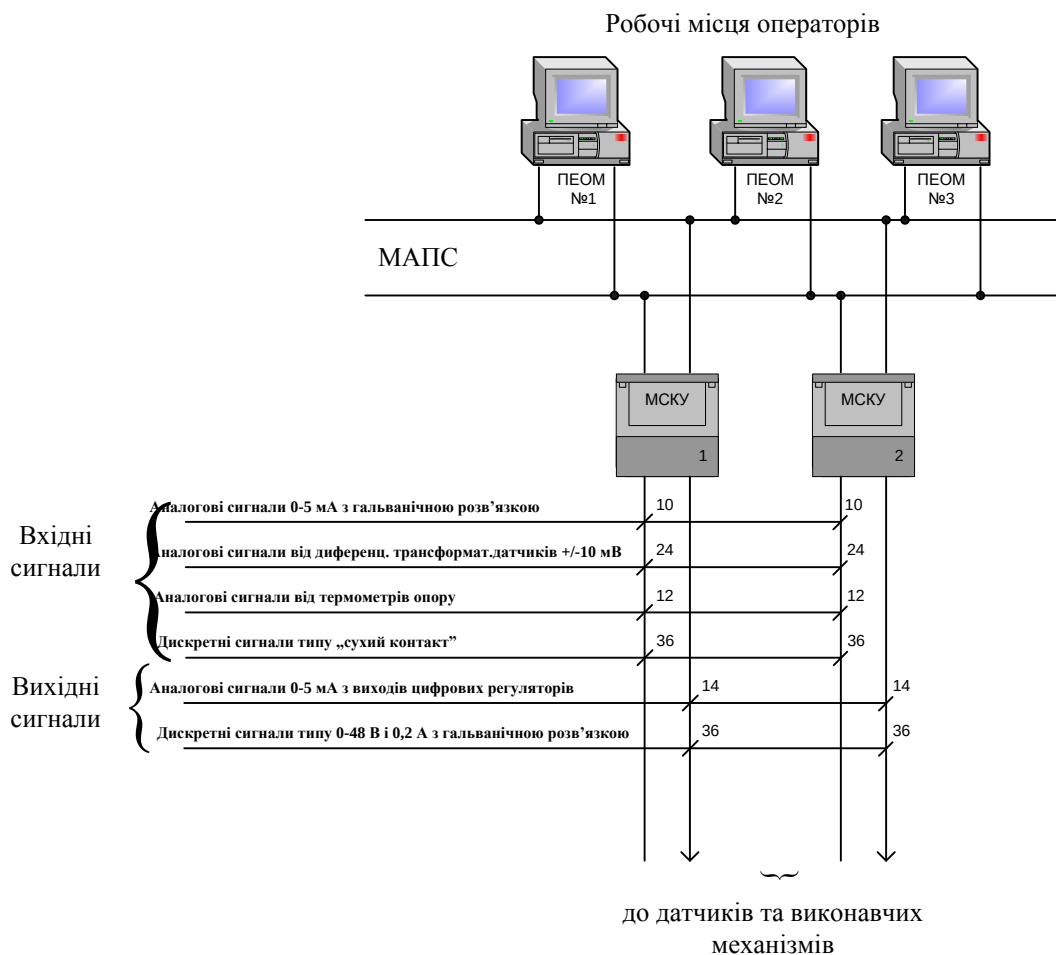


Рисунок 1.3 – Структурна схема АСУ ТП ТЕЦ Лучанського цукрового заводу

В 2008 році була спроектована та впроваджена інша АСУ ТП ТЕЦ, яка призначена для збору/обробки інформації й автоматичної підтримки

заданого режиму роботи котельної установки. Метою роботи є одержання оперативної інформації про хід технологічного процесу, контроль і регулювання основних параметрів, автоматичний захист казана.

АСУ ТП забезпечує наступні можливості:

- ручний пуск казана з урахуванням наступних параметрів: обов'язкова робота димососа й вентилятора при розпалюванні, наявність полум'я на пальниках після їх розпалювання;
- автоматичне регулювання параметрів казана після підключення навантаження: рівня у барабані казана, тиску у барабані казана, температури перегрітої пари, розрідження в топці, співвідношення газ-повітря;
- автоматичний захист і зупинку казана при виникненні аварійних ситуацій;
- попереджувальну й аварійну сигналізацію з розшифровкою першопричини спрацьовування;
- технологічний контроль параметрів;
- дистанційне управління регулюючими виконавчими механізмами;
- дистанційне управління головною паровою засувкою й клапаном безперервної продувки, клапаном на злив воді з барабана казана;
- автоматизований збір і архівування інформації із установлюваного контролера S 7-300 і регуляторів SIPART DR19 (рисунк 1.4);
- програмно-апаратну діагностику працездатності регуляторів і контролерів, діагностику стану зв'язку з контролером SIMATIC і регуляторами SIPART;
- автоматизоване робоче місце (далі АРМ) оператора котельних агрегатів (призначене для візуалізації ходу технологічного процесу у вигляді мнемосхем на моніторі, ведення технологічних/реєстраційних журналів і надання можливостей збору й зберігання даних, перегляду технологічних параметрів у вигляді мнемосхем, підготовки й друку звітів, редагування параметрів настройки АСУ, використання функцій контролю при напіваавтоматичного пуску казана).

Розробка програмного забезпечення автоматизованих місць операторів (АРМ) виконувалась на базі SCADA «WinCC» (Німеччина).

Після введення нової системи автоматизації в експлуатацію були знижені витрати газу, значно поліпшені умови праці операторів і технологів, а також стабільність роботи вищеназваних контурів регулювання.

При всіх перевагах розглянутих АСУ ТП ТЕЦ вони мають і суттєві недоліки, головним з яких є їх дорожнеча. Це пояснюється тим, що:

- в процесі розробки програмного забезпечення системи управління (для технологічних операторських станцій та промислових контролерів) використовувались або універсальні мови програмування, зокрема C++, що призвело до великих витрат часу та коштів на оплату праці висококваліфікованих програмістів (для АСУ ТП ЗАТОВ «Імпульс», або дорогі SCADA-системи (промислові версії SCADA Trase Mode 6.0 і WinCC);

- система управління пристосована тільки для конкретного підприємства, а її супроводження здійснюється не персоналом цього підприємства, а організацією-розробником, що різко здорожує супроводження системи в процесі її експлуатації;

- організація-розробник для реалізації процедур управління та регулювання в системі використала дорогі промислові контролери (наприклад, ЛОГИКОНТ-S200, SIMATIC S 7-300, замовлена конфігурація МПС типу МСКУ М) та вимірювальні пристрої відомих світових виробників, що також призвело до збільшення вартості супроводження системи для підприємства, де встановлена система (ремонт та заміна обладнання на нове і тільки такого ж типу виконується з залученням співробітників і ресурсів організації-розробника).

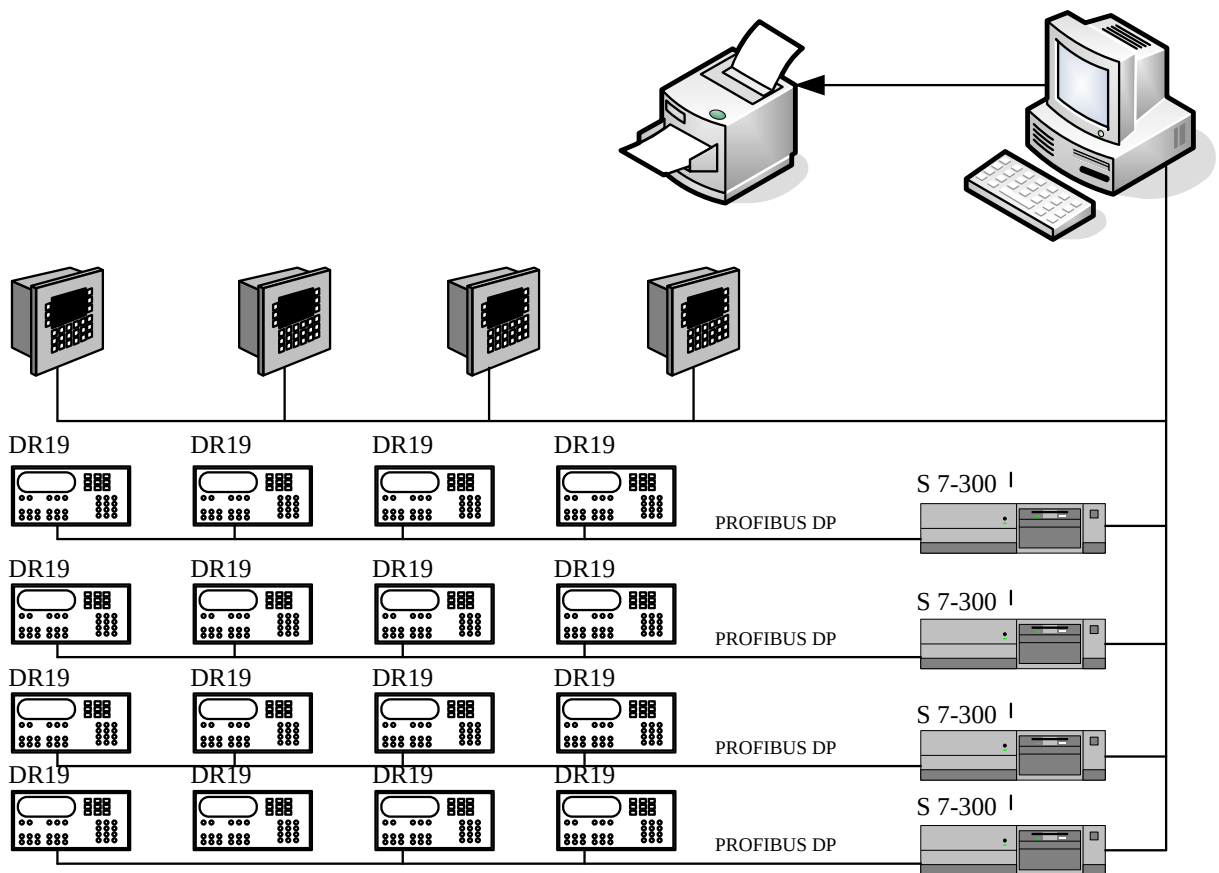


Рисунок 1.4 – Структурна схема АСУ ТП ТЕЦ Успенського цукрового заводу

Крім того, системи не є відкритими у повному розумінні цього поняття, тобто такими, що легко нарощуються власними силами підприємства, де вона встановлена і експлуатується, шляхом інтегрування до неї додаткових засобів автоматизації сторонніх виробників (у разі модернізації або розширення виробництва).

Тому будь-яка модернізація системи на підприємстві знову неможлива без залучення організації-розробника, що знову веде до збільшення витрат підприємства у порівнянні з тим, що воно могло б робити модернізацію власними силами.

Виходячи з усіх перелічених недоліків існуючих систем, можна сформулювати напрямки подальшого проєктування нової системи управління промисловим процесом виробництва технічної пари на ТЕЦ цукрового заводу, яка б не мала всіх, або більшої частки, цих недоліків.

1.3 Вимоги діючих стандартів до проєктування ІСА виробництва

Концепція комп'ютерно-інтегрованого виробництва «СІМ» (Computer Integrated Manufacturing) була сформована наприкінці ХХ століття, тоді ж були розроблені перші міжнародні стандарти у цій області [19-21]. Ці стандарти надають конкретні рекомендації як щодо організації самого комп'ютерно-інтегрованого виробництва (неперервного, дискретного, періодичного), так і щодо побудови відповідних інтегрованих систем управління (ІСА) цим виробництвом.

Так, в [19] визначена загальна ієрархічна структура ІСА промислового підприємства, яка має такі складові частини (горизонтальні рівні управління) – АСУП або ERP система (рівень управління бізнес процесами), АСУВ або MES/MOM система (рівень управління виробництвом), АСУТП або SCADA система (рівень управління окремими технологічними процесами та виробничими об'єктами).

В такій ІСА на рівні управління бізнес процесами (АСУП або ERP система) мають виконуватися об'ємне стратегічне й оперативне (місячне) планування, бюджетування, фінансування, логістика та взаємодія з постачальниками й споживачами продукції. На рівні управління виробництвом (АСУВ або MES/MOM система) мають виконуватися контроль, облік, календарне планування й оперативне управління виробництвом і всіма його обслуговуючими службами. На рівні управління окремими технологічними процесами та виробничими об'єктами (АСУТП або SCADA системи) мають виконуватися контроль, облік і оперативне управління виробничими переділами – технологічними агрегатами, транспортними лініями, сховищами (складами, силосами, газгольдерами, парками резервуарів), ділянками компаундування напівфабрикатів, секціями прийому сировинних компонентів і відпуску готової продукції.

Розглянемо більш детально вимоги діючих стандартів щодо побудови ІСА на рівні управління виробництвом, що є темою даного кваліфікаційного проєкту. Так, спеціальна міжнародна асоціація виробників систем управління виробництвом «MESA» зафіксувала в 1994 році типові функції систем рівня АСУВ/MES для підприємств всіх галузей промисловості дискретного,

періодичного й безперервного типів [22]. Ця стандартна функціональна структура показана на рисунку 1.5. Ця структура містить такі функції:

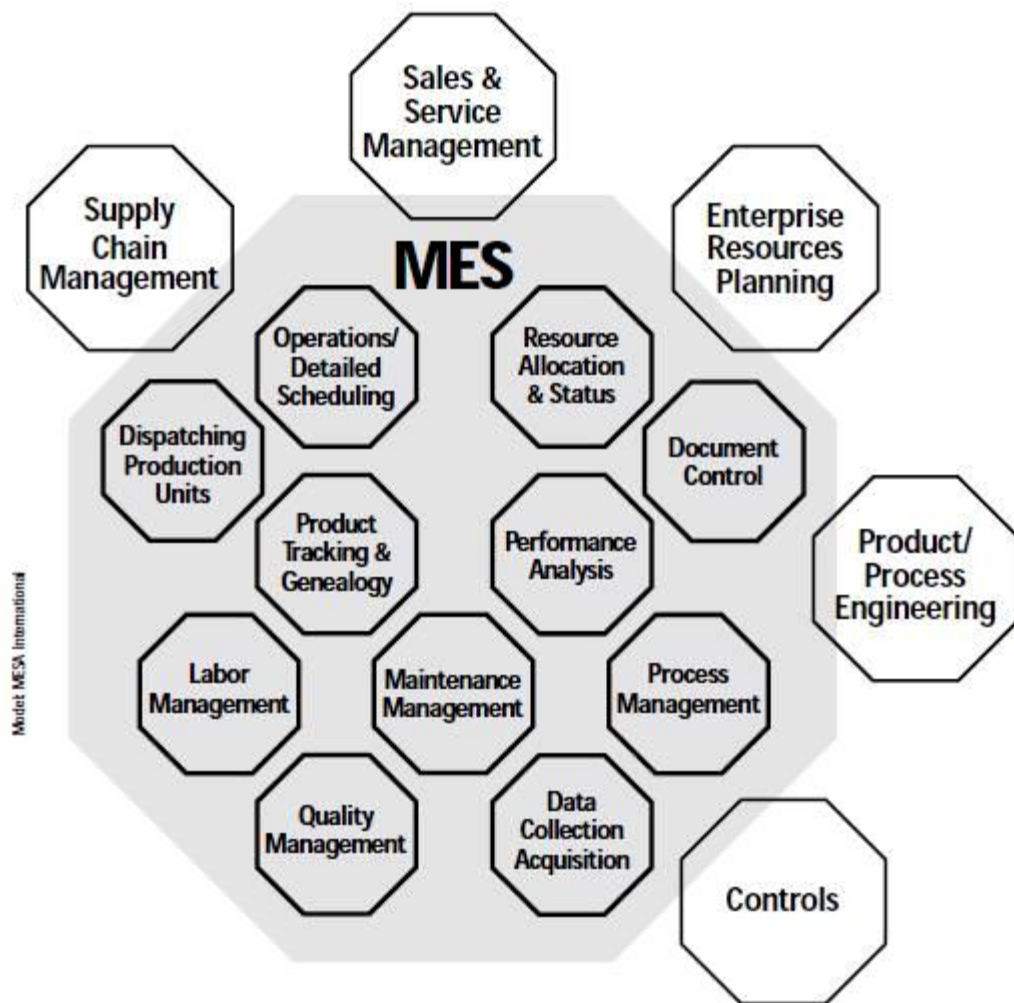


Рисунок 1.5 – Стандартна функціональна структура ICA на рівні АСУВ/MES

1). Контроль стану й розподілу виробничих ресурсів (англ. Resource Allocation and Status, RAS). Поточний аналіз наявних різних виробничих ресурсів, виявлення відсутніх і зайвих ресурсів, які можуть змінити оперативні виробничі плани. Дані вводяться зі складів і з виробничих ділянок.

2). Оперативне (календарне) планування (детальний розклад) всіх виробничих процесів (англ. Operations/Detail Scheduling, ODS). Складання детального графіка роботи всього встаткування на поточний календарний інтервал, спостереження за його виконанням, необхідне коректування. Використовуються дані планового відділу, виробничі дані, дані складського обліку.

3). Диспетчеризація виробництва (англ. Dispatching Production Units, DPU). Забезпечення поточного контролю за ходом всіх виробничих процесів,

за різними порушеннями в протіканні процесів і вироблення рекомендацій з їхнього усунення.

4). Управління документацією (англ. Document Control, DOC). Введення, зберігання й видача документів планового й звітного типів, конструкторського й технологічного змісту, повідомлень про технічні зміни й т.д. Формування загальних оперативних зведень про хід виробництва, необхідних для прийняття рішень у фінансово-господарських підрозділах підприємства.

5). Збір інформації про хід виробництва й зберігання даних (англ. Data Collection/Acquisition, DCA). Інформаційна взаємодія різних виробничих систем для одержання, нагромадження, передачі всіх даних, що циркулюють у виробничому середовищі підприємства.

6). Управління персоналом у режимі реального часу (англ. Labor Management, LM). Узгодження графіка роботи виробництва з розподілом робочої сили.

7). Аналіз і управління якістю продукції (англ. Quality Management, QM). Збір інформації про якість сировини, напівфабрикатів, готової продукції й виявлення відхилень якості від заданих норм, які вимагають втручання керуючого персоналу.

8). Управління виробничими процесами і їхнім коректуванням (англ. Process Management, PM). Відстеження ходу виробничих процесів і їхніх режимів, виявлення відхилень і видача рекомендацій для їхньої компенсації.

9). Управління ремонтами встаткування (англ. Maintenance Management, MM). Моніторинг технічного стану встаткування, планування й оперативне управління ремонтами, контроль проведення робіт з обслуговування й по ремонтах.

10). Спостереження за місцем і часом виконання робіт з кожного виробу (англ. Product Tracking and Genealogy, PTG). Забезпечення керівництва підприємства всіма оперативними даними про хід виробничих процесів.

11). Аналіз продуктивності – порівняння планової й фактичної продуктивності (англ. Performance Analysis, PA). Формування звітів про продуктивність окремих ділянок виробництва, цехів, виробництва в цілому за різні інтервали часу. Зіставлення їх із плановими показниками, з попередніми результатами й вироблення рекомендацій.

В 2004-ом році із цього складу типових функцій MESA виключила три функції:

- «Оперативне планування», через наявність на ринку окремого класу систем досконалого планування - APS (Advanced Planning & Scheduling);
- «Управління документацією», через появу окремого класу систем електронного документообігу Docflow;
- «Управління ремонтами встаткування», через широке поширення окремого класу систем управління основними фондами підприємства - EAM

(Enterprise Asset Management).

Комітет з розробки стандартів інтеграції керуючої й технологічної інформації міжнародної організації по стандартизації - ISA в 2000 р. випустив спеціальний стандарт - ISA-95 "Enterprise Control System Integration", що визначає основні положення розробки MES для будь-яких виробництв і підприємств всіх галузей промисловості [23]. Стандарт складається з п'яти частин, у яких формулюється термінологія, варіанти використовуваних моделей, їхніх характеристик, взаємозв'язків виробничих процесів з бізнес процесами. Головні розглянуті в стандарті області: виробнича діяльність, технічне обслуговування, підтримка якості й операції із запасами. Стандарт визначає форми опису:

- виробництва, устаткування, матеріалів, персоналу;
- інформації про виробничі процеси, продукти, графіки роботи, параметри устаткування;
- функцій управління виробництвом, обслуговування встаткування, обліку запасів, оцінки якості продукції.

Стандарт також фіксує структури повідомлень між різними інформаційними системами підприємств (між автоматизованими функціями) та типові зв'язки між двома рівнями ISA – рівнем «АСУВ/MES системи» і рівнем «АСУП/ERP системи».

Таким чином, стандартний функціонал ISA на рівні «АСУВ/MES системи» повинен містити автоматизацію функцій контролю, обліку, календарного планування й оперативного управління виробництвом, які виходять за рамки окремих виробничих об'єктів і охоплюють все виробниче середовище або його досить самостійні окремі виробничі служби. З урахуванням цього весь функціонал даного рівня ISA можна розділити на дві такі досить самостійні частини:

- базовий компонент, що є фундаментом для виконання будь-яких завдань управління виробництвом і без якого не може функціонувати будь-який інший компонент даного рівня ISA. Таким базовим компонентом є інформаційна платформа, тобто, система контролю й обліку роботи виробництва і його окремих служб, яка виконує функції збору даних про поточний стан виробництва; їх математичної й логічної обробки й розрахунку необхідних для управління матеріальних, енергетичних, якісних, екологічних показників; зберігання й документування даних і показників; оперативного зв'язку з персоналом підприємства, зі спеціалізованими компонентами даного рівня ISA, з АСУП/ERP системою і її бізнес процесами;

- спеціалізовані компоненти автоматизації різних служб виробництва, що опираються у своїй роботі на базовий компонент і автоматизують задачі контролю, обліку й управління, що реалізовані в різних виробничих службах. Спеціалізованими компонентами є системи автоматизації, що виконують функції зведення матеріального балансу по

виробництву, календарного планування й оперативного управління виробництвом. До них належать також системи, що автоматизують роботу основних підрозділів виробництва: ремонтних служб виробничого встаткування різних класів і типів, виробничих лабораторій, служб електроенергетики і теплоенергетики.

Світова практика впровадження систем рівня «АСУВ/MES» дозволяє виділити такі основні особливості їх побудови:

- процес проєктування й впровадження всіх окремих компонентів, що входять у комплекс під назвою «АСУВ/MES», при умовах достатнього й безперервного фінансування робіт і послідовного впровадження окремих компонентів є досить витратним і тривалим у часі (не менше 3-5-ти років);

- окремі компоненти комплексу «АСУВ/MES» можуть розроблятися (і в переважній більшості випадків розробляються) різними організаціями на базі програмних і технічних засобів різних виробників, але з передбачуваною відкритістю використовуваних засобів автоматизації для досить вільної їх взаємодії один з одним;

- підприємства-замовники комплексу «АСУВ/MES», у переважній більшості, досить слабо представляють сучасні можливості автоматизації виробництва і його служб і не можуть самі скласти необхідні, досить повні й конкретні вимоги на компоненти даного комплексу і, відповідно, не можуть оцінити якість їхньої побудови.

Тепер на основі проведених вище аналізів вимог діючих стандартів до побудови ІСА виробництвом на рівні «АСУВ/MES» та існуючих аналогічних АСУТП можна сформулювати напрямки подальшого проєктування ІСА за темою кваліфікаційного проєкту та розробити її концептуальне рішення (концепцію), яка означить загальне бачення проєкту системи.

1.4 Обґрунтування концепції побудови нової ІСА

Враховуючи рекомендації діючих стандартів в області комп'ютерно-інтегрованого виробництва нову ІСА для промислового зберігання буряка доцільно будувати за ієрархічним принципом, згідно з яким вона повинна включати два обов'язкових рівня управління – «АСУТП/SCADA система» та «АСУВ/MES система», які за допомогою інформаційних потоків об'єднуються у єдину цілісну систему. Світовий досвід застосування такого концептуального рішення ІСА показує, що воно зазвичай дає такі якісні результати:

- підвищення продуктивності виробничого процесу;
- стабілізація якості готової продукції виробництва;
- значне скорочення енерговитрати на виробництво;
- зниження витрати на обслуговування й ремонт устаткування;
- збільшення економічної ефективності виробництва;

- підвищення культури управління виробництвом.

Саме тому цю концепцію ми і застосуємо при побудові нової ІСА.

Вище було також відмічено, що рівень управління «АСУВ/MES система» в такій ІСА доцільно поділяти на дві досить самостійні частини:

- базовий компонент у вигляді інформаційної платформи;
- спеціалізовані компоненти автоматизації різних служб виробництва.

По своїй суті інформаційна платформа рівня «АСУВ/MES система» являє собою систему контролю й обліку роботи виробництва, саме тому її ще йменують як «Manufacturing Information System» (MIS), тобто інформаційна виробнича система [23, 24]. В її функції входять збір, обробка, зберігання й видача користувачам оперативної, ретроспективної й нормативної інформації про різні аспекти роботи окремих переділів виробництва й про поточний стан виробництва. У цій системі також виконується збереження інформаційної моделі виробництва та узагальнюються усі дані про хід виробництва. Завдяки наявності цієї системи значно спрощується реалізація взаємозв'язків різних користувачів з будь-якою виробничою інформацією, виключається як будь-яке дублювання даних в окремих системах автоматизації виробництва, так і необхідність складного пошуку інформації про хід виробництва в ряді систем і засобів автоматизації окремих переділів виробництва.

Функціональний склад інформаційної платформи для рівня «АСУВ/MES система» можна розділити на такі групи: збір вихідних даних, їх математична й логічна обробка, видача оброблених даних і розрахованих показників для різних груп користувачів, довгострокове зберігання інформації про роботу виробництва.

Розглянемо детальніше існуючі рекомендації щодо реалізації в інформаційній платформі групи функцій «Збір вихідних даних». В [24] зазначається, що надходження цих даних до інформаційної платформи може здійснюватися як автоматично через реалізацію інформаційних зв'язків із системами й засобами автоматизації нижнього рівня управління (наприклад окремих технологічних процесів чи виробничих об'єктів, ділянок, служб), так і вручну через спеціальні комп'ютерні термінали, що установлені на робочих місцях оперативного персоналу (наприклад операторів технологічних процесів). При автоматичному збиранні даних відповідний інформаційний зв'язок може встановлюватися або з окремим локальним сервером конкретної системи нижнього рівня управління, або безпосередньо з програмою класу «АСУТП/SCADA», що виконується на робочій станції (комп'ютері) оперативного персоналу такої системи.

Крім того, для забезпечення надійної роботи інформаційної платформи (інформаційної виробничої системи), зменшення сторонніх перешкод, обмеження навантажень на її мережу й сервер, а також для спрощення її обслуговування, доцільно дотримуватися визначених правил

при її реалізації в ІСА [24]. Ці правила можна конкретизувати у вигляді таких практичних рекомендацій:

- інформаційна платформа (інформаційна виробнича система) повинна замикатися лише на одному ієрархічному рівні управління - рівні управління виробництвом «АСУВ/MES»; це означає, що вона не повинна поєднуватися за технічною структурою й функціональним складом ні з будь-якою системою нижнього рівня (наприклад з АСУТП/SCADA системою), ні з будь-якою системою верхнього рівня (наприклад з АСУП/ERP системою);

- інформаційна платформа (інформаційна виробнича система) повинна збирати, виробляти й видавати необхідну інформацію для керівництва підприємства, виробничих служб чи бізнес відділів, але вона не повинна заміняти ці спеціалізовані системи автоматизації і зливатися з ними; це означає, що вона повинна тільки здійснювати взаємний обмін необхідною інформацією зі спеціалізованими системами автоматизації верхніх рівнів.

Враховуючи усі наведені вище рекомендації щодо побудови та реалізації ІСА виробництвом, можна запропонувати відповідну раціональну загальну архітектуру нової ІСА, яка показана на рисунку 1.5 та в додатку Б..

Як видно з рисунку, нова ІСА для промислової котельної установки складається з двох ієрархічних рівнів управління – «АСУТП/SCADA» (автоматизовані системи управління, вимірювання та контролю технологічного процесу) та «АСУВ/MES» (автоматизована система управління виробничим процесом). Нижній рівень системи утворюється двома автоматизованими системами – АСУТП промислової котельної установки та спеціалізованою автоматизованою системою (САС) вимірювання/контролю додаткових технічних параметрів. Верхній рівень системи утворюється також двома автоматизованими системами – інформаційною виробничою системою (ІВС) та системою автоматизованих служб управління виробництвом. Перша система служить інформаційною платформою для реалізації функцій другої автоматизованої системи.

АСУТП здійснює усі функції щодо управління технічним процесом в режимі реального часу, наприклад, збирає та зберігає відповідні цифрові дані про поточний стан та хід технічного процесу. Усі ці дані повинні зберігатися на локальному сервері даної системи, а частина з них через цифрову мережу підприємства повинна передаватися до глобального сервера ІВС. До цього ж сервера через ту ж саму мережу підприємства передаються і усі додаткові цифрові дані про стан та хід технічного процесу, які збирає САС вимірювання/контролю. Введення САС до складу ІСА пояснюється тим, що для реалізації тих чи інших управлінських функцій відповідними виробничими службами, як правило, недостатньо лише тих даних про ТП, які надає АСУТП.

В ІВС здійснюється збирання, збереження та оброблення тих цифрових даних про стан та хід виробничого процесу, які потрібні для автоматизованих служб управління виробництвом. Передавання

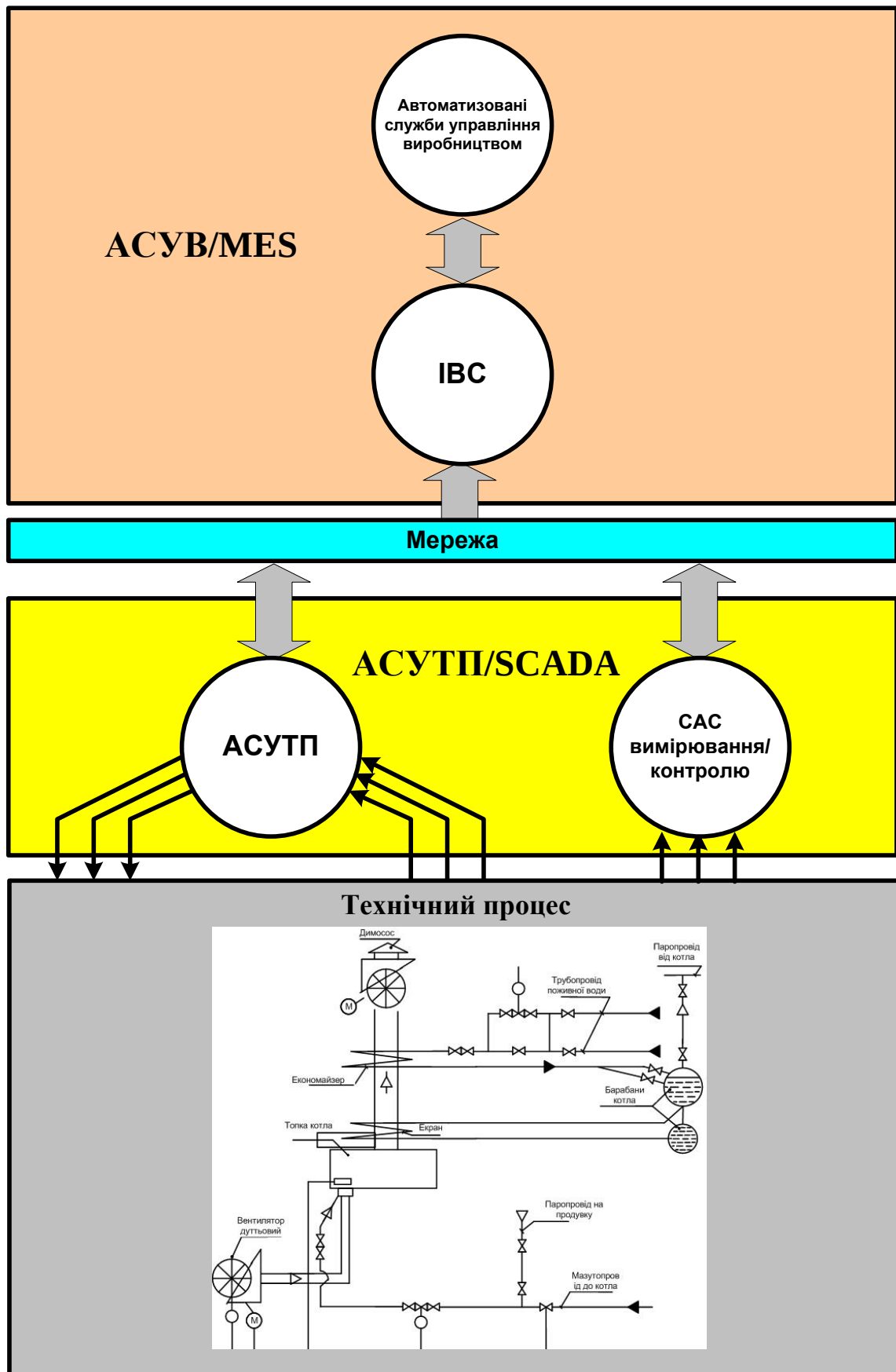


Рисунок 1.5 – Загальна архітектура нової ІСА

цифрових даних з глобального сервера ІВС до автоматизованих служб здійснюватися або через загальну мережу підприємства, або, у окремих випадках, через інші канали передавання даних, наприклад, стільниковий зв'язок.

Підводячи підсумок розгляду даної архітектури, можна зазначити, що в ній враховані усі наведені вище рекомендації щодо її раціональної будови, наприклад, ІВС нової ІСА не поєднується за своєю технічною структурою й функціональним складом з будь-якою автоматизованою системою нижнього рівня управління (АСУТП або САС).

Сформуємо тепер напрями подальшого проектування кожної зі складових частин розробленої архітектури нової ІСА, зокрема, визначимо основні вимоги до їх проектування.

Розглянемо складову частину архітектури «АСУТП». По-перше, поставимо задачу спроектувати її більш дешевою ніж існуючі аналогічні системи, що розглядались вище. Це може бути досягнуто завдяки використанню автоматизованого середовища (інструментальних засобів) проектування цієї системи, що не вимагатиме залучення праці висококваліфікованих програмістів, крім того, таке автоматизоване проектування різко скоротить і загальний термін розробки, що, як наслідок, теж сприятиме здешевленню отриманого проєкту даної системи.

По-друге, при проектуванні АСУТП доцільно застосувати не менш ефективні, але більш дешеві, програмно-апаратні засоби автоматизації виробництва таких країн, як Корея, Тайвань і т.д., що, без сумніву, не тільки знизить вартість реалізації системи, але і дозволить зменшити вартість та витрати часу на її ремонт, підвищить надійність системи в цілому та окремих її складових частин, покращить якість управління процесом завдяки більш ефективному аналізу інформації з технологічних датчиків.

По-третє, застосування в складі даної системи сучасних датчиків та цифрових алгоритмів обробки їх сигналів дозволить різко підвищити точність управління всім технічним процесом промислового зберігання буряка.

По-четверте, структура нової АСУТП повинна бути відкритою, що дозволить у разі зміни параметрів технологічного процесу або алгоритмів управління ним значно спростити нарощування чи переналагоджування системи, так як її складові взаємодіятимуть за стандартними уніфікованими сигналами та стандартними протоколами передачі даних.

По-п'яте, нова АСУТП повинна мати високу якість інформативного забезпечення оператора, щоб дозволити йому на декількох екранах спостерігати результати управління/вимірювання/контролю задіяних параметрів технічного процесу у відповідності з сучасними ергономічними вимогам.

По-шосте, нова АСУТП повинна дозволити повністю автоматизувати документування результатів своєї роботи та генерування різноманітних звітів

для верхніх рівнів управління виробництвом та підприємством.

Для проектування нової АСУТП визначимо основні кількісні характеристики роботи цієї системи.

Система управління відноситься до стаціонарної радіоелектронної апаратури, що працює в опалювальних приміщеннях :

- температура оточуючого середовища $t_{\min}=10^{\circ}\text{C}$, $t_{\max}=55^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість при $t=25^{\circ}\text{C}$ становить 80%;
- механічні впливи відсутні;
- вібрація в діапазоні частот від 10 до 30 Гц;
- максимальне віброприскорення $19,6 \text{ м/с}^2$;
- лінійне прискорення відсутнє;
- знижений атмосферний тиск 61 кПа.

Спостерігається наявність загальнопромислових електромагнітних завад.

Основними характеристиками об'єкту управління, що впливають на алгоритм роботи системи управління є:

- рівень живильної води в барабанах котла;
- тиск розрідження;
- тиск подачі палива;
- тиск подачі повітря.

Характеристики речовини, яку виробляє технологічне обладнання: пар – результат фізичного процесу перетворення води при нагріванні.

Габаритні розміри технологічного обладнання:

- довжина мазутопроводу 5 м;
- довжина економайзера 8м;
- висота барабанів котла 2м;
- довжина паропроводу 3м;
- довжина екрана 10м.

Регулюванню під час технологічного процесу підлягають наступні вихідні параметри:

- тиск палива (номінальне значення $P1=1,5 \text{ МПа}$, $P1_{\max}= 1,7 \text{ МПа}$, $P1_{\min}=1,3 \text{ МПа}$);
- тиск розрядження (номінальне значення $P3= 25 \text{ Па}$, $P3_{\max}= 30 \text{ Па}$, $P3_{\min}=20 \text{ Па}$);
- тиск повітря (номінальне значення $P2=2 \text{ кПа}$, $P2_{\max}= 2,5 \text{ кПа}$, $P2_{\min}=1,5 \text{ кПа}$);
- рівень води в барабанах (номінальне значення $L1=1000 \text{ мм}$, $L1_{\max}=1010 \text{ мм}$, $L1_{\min}=990 \text{ мм}$).

Під час процесу управління вимірюванню та контролю підлягають:

- тиск розрядження;
- тиск подачі палива;
- тиск повітря;
- рівень води в котлі;

- витрати води.

Положення регулюючих органів на відповідних технологічних установках (виконавчих механізмів) регулюється регуляторами системи за пропорційно-інтегрально-диференціальним законом.

У разі виникнення однієї з таких аварійних ситуацій:

- поточні значення тиску P1, P2, P3 виходять за межі вимірювань;
- значення вимірюваного рівня L1 води в котлі виходить за допустимі межі ;
- спостерігається спад тиску на первинних вимірювальних приладах, передбачені наступні дії оператора:
- огляд журналу реєстрації тривог для визначення місця аварії;
- зміна інтегральних та диференціальних коефіцієнтів законів регулювання відповідних регуляторів.

АРМ оператора-технолога розміщений в опалювальному приміщенні на відстані 250м від котельної установки. Лінія послідовної передачі реалізована з урахуванням інтерфейсу RS-485, що дозволяє передавати повідомлення на відстань до 1200 м на 32 приймача. Лінія передачі реалізована у вигляді витой пари, що захищена від загальнопромислових завад.

Технологічний процес візуалізований за допомогою головної екранної форми, на якій розташовані органи управління та індикації. Використовуються додаткові форми для більш зручного сприйняття інформації про параметри, що контролюються.

Основними формами звітності є журнал аварійних ситуацій, а також узагальнений звіт про тиск води, розрідження, витрати палива та повітря, а також про рівень води у котлі, що спостерігались на протязі робочої зміни.

Розглянемо тепер таку складову частину архітектури ІСА як «САС вимірювання/контролю». Як було зазначено вище, ця спеціалізована автоматизована система нижнього рівня призначена для збирання даних про додаткові параметри ТП промислової котельної установки, які потрібні для ефективного виконання автоматизованих функцій системами рівня «АСУВ/MES». Тому вимоги до даної складової частини означимо лише тоді, коли будуть остаточно сформовані напрями проєктування та вимоги до відповідних систем рівня «АСУВ/MES», що за нашим проєктом будуть входити до складу нової ІСА.

Це виробництво відноситься до неперервного або технологічного типу [2]. Тому функції автоматизованих служб управління ним мають певну специфіку реалізації у порівнянні з обов'язковими управлінськими функціями, що описані, наприклад, в стандарті «MESA-11» [22]. Тобто, на конкретному підприємстві зазначені в стандарті управлінські функції зазвичай розподіляються між тими виробничими службами, які вже існують в організаційній структурі даного підприємства. Наприклад, стандартна функція «Контроль стану й розподілу виробничих ресурсів» на реальному

підприємстві може бути розподілена між такими автоматизованими службами як виробнича, технологічна, економічна, головного механіка, головного енергетика та іншими.

Для подальшого проєктування ІСА для промислової котельної установки виберемо одну із складових частин архітектури нової ІСА (див. рисунок 1.5), наприклад «АСУТП», і вже для неї розробимо детальне технічне завдання на бакалаврське кваліфікаційне проєктування. Це технічне завдання, оформлене за вимогами стандартів у вигляді окремого документу, наведено у додатку А.

2 Проєктування технічної частини системи

2.1 Визначення загальної конфігурації системи управління

Аналізуючи типову схему автоматизації котельної установки, що наведена на рисунку 1.2, можна відмітити такі її недоліки: схема виконана на застарілій елементній базі, недостатньо автоматизована з точки зору інформування оператора про протікання технічного процесу та контролю параметрів роботи котельної установки.

Для того, щоб всі процеси були під контролем та наглядом оператора, необхідне компактне розташування пристроїв індикації параметрів технічного процесу. Найчастіше один пристрій реєстрації знаходиться в типовій системі на значній відстані від іншого, що потребує від оператора значних зусиль і постійної уваги до черговості опитування значень на пристроях реєстрації.

Для того, щоб автоматизувати процес збирання інформації про хід технічного процесу, забезпечити постійний контроль над поточними параметрами, візуалізацію процесу, технічну анімацію, автоматичне управління і регулювання, а також полегшити працю оператора використовуємо промислову систему SCADA в якості інструментального середовища автоматизованого проєктування та реалізації АСУТП. Такі системи характеризуються наступними перевагами: швидкість, ясність процесу розробки, висока надійність, простота модифікації і супроводження розробленої системи.

Для розробки програмного забезпечення системи управління процесом виробництва технічної пари для цукрового заводу можна застосувати систему SCADA «Genie 3.0», що створена фірмою ADVANTECH (Тайвань). Цей ліцензійний пакет SCADA є на кафедрі АІТ.

Пакет «Genie» є інструментальним засобом створення програмного забезпечення збору даних і оперативного диспетчерського управління, що виконується в середовищі MS Windows. «Genie» версії 3.0 може застосовуватися в проєктах АСУТП масштабу технологічної ділянки або цеха, з початковим або середнім рівнем складності.

Стандартний пакет «Genie» оснащений драйверами введення-виведення для підтримки всіх апаратних засобів промислової автоматизації фірми ADVANTECH, включаючи плати збору даних і керування, IBM PC сумісний модульний контролер MIC 2000, пристрої віддаленого збору даних серії ADAM-4000 і ADAM 5000/485, а також пристрої промислової шини CAN із протоколом DeviceNet ADAM-5000/CAN [25].

Таким чином, зазначені інструментальні засоби та засоби автоматизації однієї відомої фірми, що вже добре зарекомендували себе на ринку країн СНД (уся технічна документація перекладена), дозволять швидко та ефективно розробити вдосконалену систему управління промисловою

котельною установкою, а також дозволять в подальшому розповсюдити автоматизацію на інші цехи та ділянки цукрового заводу на основі одного програмно-технічного комплексу.

Систему управління технічним процесом промислової котельної установки будемо будувати за дворівневою розподіленою структурою. На нижньому рівні управління будуть розміщені засоби низової автоматики (датчики, виконавчі механізми, регулюючі органи) та пристрої зв'язку з об'єктом (модулі віддаленого введення/ виведення фізичних сигналів серії ADAM-4000 та пристрої силової комутації для виконавчих механізмів регулюючих органів). В якості регулюючих органів в переважній більшості будемо використовувати регулюючі вентилі, вбудовані у відповідні технологічні трубопроводи.

На верхньому рівні управління розміщуємо автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора на базі промислового комп'ютера, зв'язаного через локальну мережу RS-485 з модулями ADAM-4000 нижнього рівня управління. АРМ буде спроектоване і реалізоване в інструментальному середовищі промислової SCADA «Genie 3.0» для збирання та обробка даних, контролю та регулювання технічних параметрів, їх архівація та відображення на екрані.

2.2 Електрична структурна схема системи

Згідно з визначеною вище загальною конфігурацією системи управління котельною установкою цукрового заводу була розроблена її електрична структурна схема, яка наведена в додатку Б.

На схемі показаний загальний склад блоків спроектованої системи (без уточнення їх типів) та основні зв'язки між цими блоками. При розробці схеми враховувалися відповідні вимоги технічного завдання на кваліфікаційне проектування (додаток А).

Система будується за дворівневою розподіленою структурою. Верхній рівень системи утворюється автоматизованим робочим місцем (АРМ) оператора, що реалізоване на базі промислового комп'ютера (блоки 1-3). Нижній рівень управління утворюється пристроями зв'язку з об'єктом серії ADAM-4000 (блоки 4-10), пристроями вимірювання технологічних параметрів (блоки 11-16) та силовими пристроями автоматики (блоки 17-20).

Обмін інформацією між рівнями управління системи здійснюється через промислову мережу передавання даних з інтерфейсом RS-485.

Згідно до технічного завдання в системі вимірюються такі технологічні параметри: тиск палива у трубопроводі подачі мазуту (блок 11), тиск повітря на вході топки казана (блок 12), розрідження у верхній області казана (блок 13), рівень води в барабанах казана (блок 14), тиск води у вхідному трубопроводі котельної установки (блок 15) та тиск пари в верхній

частині барабану казана (блок 16).

Вихідні аналогові сигнали вимірювальних пристроїв поступають на вхід пристрою зв'язку з об'єктом (ПЗО) серії ADAM-4000, що утворений вхідним мультиплексором (блок 4), аналого-цифровим перетворювачем (блок 5), буферним регістром (блок 6) та адаптером цифрової мережі (блок 7). ПЗО перетворює аналогові сигнали вимірювальних пристроїв у відповідні цифрові коди і передає їх по мережі RS-485 до комп'ютера АРМ оператора.

В комп'ютері АРМ оператора, що складається з адаптера цифрової мережі (блок 1), системного блоку (блок 2) та монітору (блок 3), встановлена промислова SCADA - система Genie. Вона реалізує усі основні функції системи управління – збирання та обробка даних, контроль та регулювання основних технологічних параметрів, їх архівація та відображення через графічний інтерфейс оператора. В результаті роботи SCADA – системи формуються сигнали управління на регулюючі органи системи (вентилі та дуттьовий вентилятор). Ці сигнали у цифровій формі передаються по мережі RS-485 на ПЗО серії ADAM-4000, що виконує функції виведення сигналів управління. Цей пристрій утворений адаптером цифрової мережі (блок 8), буферним регістром (блок 9) та вихідними підсилювачами потужності (блок 10). З виходу ПЗО потужні електричні сигнали управління передаються на силові пристрої автоматики, наприклад, електромагнітні реверсивні пускачі (блоки 17-20). Ці пристрої дозволяють вмикати/ вимикати електричні двигуни виконавчих механізмів, а також виконувати відповідну комутацію обмоток цих двигунів до мережі живлення та змінювати напрямок їх обертання (наприклад, закривати або відкривати вентиль).

Розроблена електрична структурна схема системи управління дозволяє реалізувати усі її функції, що передбачені технічним завданням на дипломне проектування.

На основі електричної структурної схеми можна в подальшому розробити функціональну схему автоматизації системи, яка б більш детально представляла побудову проектованої системи, наприклад, уточнювала б типи засобів автоматизації, які її утворюють, та способи виконання електричних з'єднань між ними.

2.3 Функціональна схема автоматизації системи

На основі технічного завдання на кваліфікаційне проектування (див. додаток А) та електричної структурної схеми системи була розроблена її функціональна схема автоматизації (додаток Б). Розглянемо реалізацію окремих контурів регулювання, що відображені на цій схемі.

Для контуру регулювання подачі повітря використаємо датчик типу Сапфір-22ДД-2430, технічні характеристики якого наведені у таблиці 2.1 [26]. Вихідним сигналом датчика “Р2*” є струм 0-20мА, що дозволяє

безпосередньо підключити його до модулів введення аналогових сигналів серії ADAM-4000. Діапазон вимірювання тиску від 0,5 до 2 кПа.

Датчики типу «Сапфір» призначені для роботи в системах автоматичного контролю, регулювання та управління технологічними процесами і забезпечують безупинне перетворення вимірюваного значення тиску (надлишкового, абсолютного, розрідження, різниці тисків) нейтральних і агресивних середовищ в уніфікований струмовий вихідний сигнал для дистанційної передачі.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики датчиків тиску типу «Сапфір»

Вимірювальні перетворювачі	Модель	Верхня границя вимірювання		Допустимий робочий надлишковий тиск,	Границя допустимі похибки, %	Матеріал з якого виготовлено перетворювач
		Одиниця вимірювання	Значення границі вимірювання			
Різниці тиску «Сапфір - ДД»	2420	кПа	6,3	4	0,5	Сплав 36НХТЮ
Тиск - розрядження «Сапфір-ДИВ»	2310	кПа	(-0,125)–(+0,125)	-	1	Сплав 36НХТЮ
Надлишкового тиску «Сапфір - ДИ»	2151	МПа	2,5	-	0,5	Титановий сплав
Різниці тиску «Сапфір - ДД»	2430	кПа	40	16	0,5	Сплав 36НХТЮ
Тиск - розрядження «Сапфір-ДИВ»	2320	кПа	(-2)–(+2)	-	0,5	Сплав 36НХТЮ

Датчик різниці тисків може використовуватися для перетворення значень рівня рідини, витрати рідини або газу, а перетворювачі гідростатичного тиску - для перетворення значень рівня рідини в уніфікований струмовий вихідний сигнал. Датчики призначені для роботи з вторинною апаратурою (реєстрації та відображення результатів), регуляторами та іншими пристроями автоматики, машинами централізованого контролю і системами управління, що працюють від стандартного вхідного сигналу 0-5, 0-20 або 4-20 мА постійного струму.

Принцип дії датчиків такого типу заснований на використанні тензометричного ефекту в напівпровідниковому матеріалі. Параметр, що вимірюється, поступає у камеру вимірювального блока, де лінійно

перетворюється в деформацію чутливого елемента і далі у зміну електричного опору тензометричних резисторів. Електронний пристрій датчика перетворює цю зміну опору у вихідний електричний уніфікований сигнал. Чутливим елементом тензометричного датчика є пластина з монокристалічного сапфіра з кремнієвими плівковими тензометричними резисторами, яка міцно сполучена з металевою мембраною датчика.

Датчики типу Сапфір-22ДД випускають з падаючою або зростаючою характеристикою вихідного сигналу (лінійна - по перепаду і нелінійна - по витраті) у залежності від замовлення, інші датчики - із лінійно зростаючою характеристикою вихідного сигналу. Граничні значення вихідних сигналів: 0-5; 0-20 або 4-20 мА постійного струму.

Датчики різних параметрів мають уніфікований електронний пристрій і відрізняються лише конструкцією вимірювального блока. Вимірювальні блоки виконані двох типів (у залежності від границь виміру): мембранного і мембранно-важільного.

Регулюючий пристрій РС29.1.12 цього контуру регулювання, який використовувався у типовій схемі автоматизації (див. додаток А) має технічні характеристики, які наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2- Технічні характеристики регулюючого приладу типу РС29.1.12

Характеристика	Значення
Призначення приладу	Автоматизація теплотехнічних процесів при використанні первинних перетворювачів ДТП з уніфікований сигналом постійного струму
Вхідні сигнали від первинних перетворювачів	0-5мА; 0-10В; вимір взаємної індуктивності у границях від мінус 10 до плюс 10мГн; вимір активного опору термоперетворювачів до 40 Ом
Вхідні сигнали від датчика показника положення виконавчого механізму	Змінний струм від реостатного або індуктивного датчика показника положення виконавчого механізму
Вихідні сигнали напруги постійного струму	мінус 10 В або плюс 10 В

Цей регулятор відноситься до комплексу приладів і пристроїв «Контур-2», призначених для побудови локальних систем автоматичного регулювання теплотехнічних процесів [26]. Комплекс включає 14 виконань багатофункціональних регулюючих приладів з імпульсним виходом типу

РС29 і два виконання 3-позиційного підсилювача типу У29.

Регулюючі прилади РС29 здійснюють масштабування і підсумовування різних вхідних сигналів і приймання сигналу завдання. Вони забезпечують посилення, демпфування та індикацію сигналу неузгодженості. Разом із виконавчим механізмом (ВМ) постійної швидкості регулятори формують пропорційно-інтегральний (ПІ) чи пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) закони регулювання і дозволяють здійснювати ручне керування ВМ. У них передбачена індикація положення ВМ, оснащеного реостатними або індуктивними датчиками положення, а також аналого-релейне перетворення по двох каналах з індикацією спрацьовування. У залежності від модифікації прилади можуть виконувати додаткові функції: диференціювання сигналів, перетворення сигналів по аперіодичному закону, нелінійне перетворення сигналів, цифрову індикацію одного з чотирьох сигналів по виклику (завдання, неузгодженості, положення виконавчого механізму і значення одного додаткового параметра). Функціональна структура приладів більшості виконань може легко змінюватися шляхом перестановки переминок на спеціальному комутаційному полі, доступному споживачу. Це дає можливість здійснювати аналого-релейне перетворення з демпфуванням, сигналізувати граничні значення різних розмірів, уводити сигнали по похідній, здійснювати динамічний зв'язок між регуляторами [26].

Існують такі виконання цих приладів по пристроям індикації:

- світлова індикація виходів та світлова індикація спрацьовування сигналізатора граничних відхилень;
- світлова індикація виходів, світлова індикація спрацьовування сигналізатора граничних відхилень або спрацьовування при аналого-релейному перетворенні і стрілочній індикації неузгодженості та положення виконавчого механізму;
- світлова індикація виходів, світлова індикація при аналого-релейному перетворенні та цифровій індикації по виклику.

Вхідними сигналами приладів РС29 є уніфіковані сигнали постійного струму, сигнали диференційно-трансформаторних перетворювачів (ДТП), термоперетворювачів опору (ТО), термоелектричних перетворювачів, реостатних і індуктивних датчиків положення виконавчих механізмів.

Діапазон зміни сигналу широкодіапазонного задатчика мінус 100% – 0 і 0 – плюс 100% для регулятора РС29.1.12; діапазони зміни сигналів оперативного задатчика (-10) – (+10) % для зазначеної модифікації регулятора. Пристрої, що задають, живляться від регулюючих приладів постійним струмом напругою 10 В.

Діапазон зміни зони нечутливості приладів РС29 0,4-4 % від номінального діапазону зміни вхідного сигналу, діапазон зміни постійної часу інтегрування від 5 до 500 с, діапазон зміни постійної часу демпфування від 0,25 до 5 с. Мінімальна тривалість інтегральних імпульсів вихідних сигналів при мінімальному значенні коефіцієнта передачі від 0,08 до 0,15 с,

максимальна тривалість інтегральних імпульсів при максимальному значенні коефіцієнта передачі не менше 0,6 с. Діапазон зміни показань показника положення виконавчого механізму від 0 до 100 % при зміні опору реостатного датчика положення не менше чим на 70 Ом або при зміні сигналу індуктивного датчика положення на 0,5 В. Діапазон зміни завдання порогів спрацьовування при сигналізації граничних відхилень від 0 до 100 % від номінального діапазону вхідного сигналу. Діапазон зміни масштабних коефіцієнтів від 0 до 1. Діапазон зміни показань цифрового індикатора в режимі індикації неузгодженості від мінус 19,9% до плюс 19,9% від діапазону сигналу неузгодженості, у режимі індикації положення виконавчого механізму 0-100 % від повного ходу виконавчого механізму, у режимі індикації виходу при динамічному перетворенні від мінус 100% до плюс 100% від номінального діапазону вхідного сигналу.

Прилади РС29 призначені для щитового утопленого монтажу. Органи статичного і динамічного настроювання, використовувані при наладці приладу, розташовані на бічній стінці, доступ до якої забезпечується при частковому висуванні шасі з корпусу без порушення електричних з'єднань. Елементна база приладів - аналогові інтегральні мікросхеми, тиристори, мікросхеми аналого-цифрового перетворення, цифрові індикатори. У разі потреби роботи приладів РС29 із задавальним і допоміжними пристроями можна використовувати блоки управління БУ і задаючі пристрої ЗП. У комплект постачання регулюючого приладу типу РС29.3 входить коробки холодних спаїв із габаритними розмірами 77x40x30 мм.

Прилад РС29.1.12 має виводи для живлення кожного з трьох ДТП змінним струмом 12,5 мА частотою 400 Гц. Живлення приладів РС29 змінним струмом напругою 220 В частотою 50 або 60 Гц. Потужність, споживана одним приладом, не більш 18 В·А. Прилади комплексу «Контур-2» призначені для роботи при температурі навколишнього повітря від 5 до 50 С та відносній вологості до 80 %. Габаритні розміри приладу РС29 60x160x295 мм, маса не більш 3,5 кг, виріз у щиті 55x155 мм. Габаритні розміри підсилювача 60x190x165 мм, маса не більш 2 кг.

Але, виходячи із застарілості регулюючого пристрою РС29.1.12, ми не будемо використовувати його в модернізованій системі управління. Реалізуємо цей регулятор програмним шляхом в середовищі SCADA Genie.

В типовій схемі автоматизації сигнал регулятора подається через 3-позиційний підсилювач типу У29 на виконавчий механізм типу МЕО 250/25-0,25Р [26].

Трипозиційні підсилювачі типу У29 призначені для комутації ланцюгів змінного струму. При цьому вони перетворюють вихідні сигнали регулюючих приладів з імпульсним виходом у зміну стану безконтактних ключів (замкнено – логічна «одиниця», розімкнено – логічний «нуль»). Підсилювачі випускаються в двох виконаннях. Підсилювач У29.2 містить два безконтактних ключі, що дозволяють управляти виконавчим механізмом із

двофазним двигуном без гальма, а також електромагнітними пускачами й іншими виконавчими пристроями з робочою напругою до 220 В та струмом до 2 А. Підсилювач У29.3 має три безконтактних ключі для управління виконавчим механізмом із двофазним двигуном з електромагнітним гальмом. Передбачено захист системи регулювання від спрацювання підсилювача тільки з'явиться на його входах суперечливих команд управління, а також захист виконавчого механізму і регулюючого органу від миттєвого реверса (тривалість паузи між розмиканням і замиканням ключів при миттєвому реверсі вхідного сигналу не менше 0,05 с). Підсилювач не має внутрішнього джерела живлення, його схема управління живиться напругою, що виникає на виході приладу РС29 у момент появи вихідного сигналу 24 В.

Вхідні сигнали: мінус 24 В (логічна «одиниця») і 0-10 В (логічний «нуль»). Падіння напруги на замкнутих ключах не більш 5 В. Підсилювачі призначені для настінного монтажу і монтажу усередині щита [30]. Режимы, роботи вихідних ключів підсилювача У29 такі: 0.1, 0.8 і 2 А при напругах 18, 220 і 250 В відповідно.

В новій системі замість підсилювача будемо використовувати модуль серії ADAM-4000 [25] для виведення дискретних сигналів управління та електромагнітний пускач виконавчого механізму. Виконавчий механізм з'єднується механічними тягами з направляючим апаратом дуттьового вентилятора. Сигнали управління призводять до зміни положення пластин направляючого апарата дуттьового вентилятора, змінюючи витрати повітря, що подається для горіння в топку в залежності від співвідношення тиску повітря і витрат пари з казана.

Для вимірювання витрат пари на виході казана застосуємо датчик тиску типу Сапфір 22ДД-2430-01-УХЛ*3.1-0,5/2 кПа-0,5, який буде вимірювати тиск пари у верхній частині барабану казана. Електричний сигнал цього датчика "P5*", що пропорційний витраті пари через вихідний трубопровід з казана, подається через модуль введення аналогових сигналів серії ADAM-4000 до програмного регулятора подачі повітря. Програмний регулятор алгебраїчно складає сигнали датчиків тиску повітря та витрат пари і формує відповідний управляючий сигнал "U1*" на виконавчий механізм типу МЭО, що змінює положення пластин направляючого апарата дуттьового вентилятора.

Застосуємо виконавчий механізм типу МЭО 250/25-0,25Р. Його технічні характеристики такі [28]:

- номінальний обертаючий момент на вихідному валу 250 Н·м;
- номінальний час повного ходу вихідного вала 25 с;
- номінальний повний хід вихідного вала 0,25 об;
- напруга живлення при частоті 50Гц – 220В;
- споживаюча потужність 80 ВА;
- габаритні розміри 370x328x370 мм;
- маса 30 кг;

Управління механізмом (пуск, зупинка, зміна напрямку руху) здійснюється контактним або безконтактним пристроєм комутації. В якості такого пристрою застосуємо електромагнітний пускач типу ПБР-2 [26].

На функціональній схемі автоматизації зазначені пристрої мають свої позиційні позначення:

- (1-1) - датчик тиску повітря на вході топки (PE);
- (1-2) - датчик тиску пари у верхній частині барабану (PE);
- (9) - модуль введення аналогових сигналів датчиків (UY);
- (1-3) - програмний засіб відображення результату вимірювання тиску повітря та тиску пари (PI);
- (1-4) - програмний регулятор подачі повітря (PC);
- (1-5) - програмний засіб аварійної сигналізації по результатах контролю граничних значень тиску повітря та пари (PA);
- (1-6) - програмний засіб архівації поточних значень тиску повітря та пари (PR);
- (5) - модуль виведення дискретних сигналів управління (UY);
- (1-7) - електромагнітний пускач виконавчого механізму (PS);
- (1-8) - виконавчий механізм контуру регулювання.

На контур регулювання подачі води до казана покладається задача підтримки рівня води в барабані на номінальному рівні незалежно від витрат технічної пари. Для цього вимірюється основний параметр – рівень води в барабані казана L1, а також контролюється тиск води у вхідному трубопроводі котельної установки P4 (фактор збурення).

Для вимірювання рівня води в барабані казана використаємо той же самий вимірювальний пристрій, що і в типовій схемі автоматизації, а саме дифманометр на базі датчика Сапфір-22ДД-2420-01-УХЛ*31-0,5/6,3кПа-0.5, який за допомогою зрівняльної посудини з'єднаний з ємністю барабану казана [28]. Уніфікований електричний сигнал дифманометру “L1*” через модуль введення аналогових сигналів серії ADAM-4000 передається на програмний регулюючий пристрій, що реалізований в комп'ютері АРМ оператора.

Для вимірювання тиску води у вхідному трубопроводі застосуємо датчик тиску типу Сапфір-22ДД-2420, технічні характеристики якого наведено у таблиці 2.1. Вихідним сигналом датчика “P4*” є струм 0-20мА, що дозволяє безпосередньо підключити його до модуля аналогового введення серії ADAM-4000.

Як зазначалось вище, регулюючий пристрій типової схеми автоматизації типу PC29.1.12 замінюємо на програмний регулятор, реалізований в SCADA системі. Цим регулятором сигнали двох датчиків (“L1*” і “P4*”) обробляються за певним алгоритмом і формується сигнал управління “U2*” подачею води до казана. Цей сигнал у цифровій формі виводиться з програмного регулятора через модуль виведення дискретних сигналів серії ADAM-4000 на силовий пристрій автоматики, що керує

виконавчим механізмом. В якості силового пристрою автоматики застосовуємо електромагнітний реверсивний пускач ПБР-2, а в якості виконавчого механізму контуру – механізм типу МЕО 250/25-0,25Р.

Виконавчий механізм приводить до дії регулюючий пристрій, яким є вентиль, встановлений на вхідному трубопроводі подачі води до котельної установки.

На функціональній схемі автоматизації зазначені пристрої мають свої позиційні позначення:

- (2-1) - датчик тиск води у вхідному трубопроводі (PE);
- (2-2) - датчик рівня води в барабані казана (LE);
- (10) - модуль введення аналогових сигналів датчиків (UY);
- (2-3) - програмний засіб відображення результату вимірювання тиску води (PI);
- (2-6) - програмний регулятор подачі води (LC);
- (2-7) - програмний засіб відображення результату вимірювання рівня води в барабані (LI);
- (2-8) - програмний засіб аварійної сигналізації по результатах контролю граничних значень рівня води (LA);
- (2-9) - програмний засіб архівації поточних значень рівня води (LR);
- (2-4) - програмний засіб аварійної сигналізації по результатах контролю граничних значень тиску води (РА);
- (2-5) - програмний засіб архівації поточних значень тиску води (PR);
- (6) - модуль виведення дискретних сигналів управління (UY);
- (2-10) - електромагнітний пускач виконавчого механізму (LS);
- (2-11) - виконавчий механізм контуру регулювання;
- (2.12) – регулюючий орган (вентиль) контуру регулювання.

На контуру регулювання розрідження покладається задача підтримки постійного розрідження в верхній області казана в діапазоні від 0 до 50 Па із високою точністю. При збільшенні кількості повітря, що подається до топки, розрідження в топці зменшується, одночасно знижується надходження повітря через нещільності стінок обладнання та трубопроводів топки. Це говорить про значний ступінь самовирівнювання топки як об'єкта регулювання розрідження.

Для вимірювання розрідження застосовуємо той же самий датчик, що і в типовій схемі, а саме датчик розрідження типу Сапфір 22ДИВ-2310-01-УХЛ*3.1-0,5/0,125 кПа-0.5, який перетворює величину розрідження в сигнал “РЗ*” в діапазоні струмів 0-20 мА. Цей сигнал передається до регулюючого пристрою контуру. Як і в попередніх контурах, цей регулюючий пристрій будемо реалізовувати програмним шляхом в середовищі SCADA системи. Для передавання сигналу датчика до програмного регулятора застосовуємо модуль введення аналогових сигналів серії ADAM-4000.

Програмний регулятор формує сигнал управління “U3*”, який через модуль виведення дискретних сигналів серії ADAM-4000 подається на вхід силового пристрою автоматики електричного виконавчого механізму. В якості силового пристрою автоматики застосовуємо електромагнітний реверсивний пускач ПБР-2, а в якості виконавчого механізму контуру – механізм типу МЕО 250/25-0,25Р. Виконавчий механізм з’єднаний механічними тяглами з направляючим апаратом димососу. В залежності від величини розрідження виконавчий механізм змінює положення направляючого апарату димососу, що призводить до зміни розрідження в топці казана.

На функціональній схемі автоматизації зазначені пристрої мають свої позиційні позначення:

- (З-1) - датчик розрідження в верхній області казана (РЕ);
- (9) - модуль введення аналогового сигналу датчика (UY);
- (З-2) - програмний засіб відображення результату вимірювання розрідження (PI);
- (З-3) - програмний регулятор розрідження (РС);
- (З-4) - програмний засіб аварійної сигналізації по результатах контролю граничних значень розрідження (РА);
- (З-5) - програмний засіб архівації поточних значень розрідження (PR);
- (7) - модуль виведення дискретних сигналів управління (UY);
- (З-6) - електромагнітний пускач виконавчого механізму (PS);
- (З-7) - виконавчий механізм контуру регулювання.

Регулювання подачі палива до топки казана виконується так, щоб в кожен момент часу в ній згорало стільки палива, скільки його необхідно для покривання витрат пари при незмінному тиску в барабані казана. Інакше кажучи, тиск пари в барабані казана зберігається постійним при наявності балансу між підведенням тепла в топку і відведенням його з парою.

Якщо при згорянні палива виділяється більше тепла, ніж це потрібно для виробництва кількості пари, що в даний момент необхідна для технологічних процесів цукрового заводу, то зайве тепло буде акумулюватися в казані, що призведе до зростання тиску пари в барабані.

Навпаки, якщо паливо подається в недостатній кількості, то потреба в парі покривається за рахунок тепла, акумульованого в котловій воді, що призводить до падіння тиску пари в барабані казана.

Тому для реалізації цього контуру регулювання необхідно вимірювати два параметри процесу: тиск подачі палива Р1 і тиск пари в верхній частині барабану казана Р5 (фактор збурення). Як вимірюється тиск пари вже було описано вище. Для вимірювання тиску палива у трубопроводі його подачі до казана використаємо датчик типу Сапфір-22ДИ-2151, технічні характеристики якого наведені у таблиці 2.1.

Вихідним сигналом “P1*” датчика є струм 0-20мА, що дозволяє безпосередньо підключити його до модуля введення аналогових сигналів серії ADAM-4000. Діапазон вимірювання тиску подачі палива від 0,5 до 2,5МПа.

Як зазначалось вище, регулюючий пристрій типової схеми автоматизації типу PC29.1.12 цього контуру замінюємо на програмний регулятор, реалізований в SCADA Genie 3.0. Цим регулятором сигнали двох датчиків (“P1*” і “P5*”) обробляються за певним алгоритмом і формується сигнал управління “U4*” подачею палива до казана. Цей сигнал у цифровій формі виводиться з програмного регулятора через модуль виведення дискретних сигналів серії ADAM-4000 на силовий пристрій автоматики, що керує виконавчим механізмом. В якості силового пристрою автоматики застосовуємо електромагнітний реверсивний пускач ПБР-2, а в якості виконавчого механізму контуру – механізм типу МЕО 250/25-0,25Р.

Виконавчий механізм приводить до дії регулюючий пристрій, яким є вентиль, встановлений на вхідному трубопроводі подачі палива до топки казана.

На функціональній схемі автоматизації зазначені пристрої мають свої позиційні позначення:

- (4-1) - датчик тиск подачі палива (PE);
- (10) - модуль введення аналогового сигналу датчика (UY);
- (4-2) - програмний засіб відображення результату вимірювання тиску подачі палива (PI);
- (4-3) - програмний регулятор подачі палива до казана (PC);
- (4-4) - програмний засіб аварійної сигналізації по результатах контролю граничних значень тиску подачі палива (PA);
- (4-5) - програмний засіб архівації поточних значень тиску подачі палива (PR);
- (8) - модуль виведення дискретних сигналів управління (UY);
- (4-6) - електромагнітний пускач виконавчого механізму (PS);
- (4-7) - виконавчий механізм контуру регулювання.

Для налагодження зв'язку поміж територіально-розподіленими датчиками і комп'ютером АРМ оператора використовуємо модулі серії ADAM-4000, що являють собою малогабаритні багатофункціональні інтелектуальні пристрої зв'язку з об'єктом, спеціально розроблені для застосування у промислових умовах експлуатації. Вбудований мікропроцесор забезпечує незалежне від управляючої обчислювальної системи виконання функцій гальванічно-ізолюваного введення/ виведення аналогових та дискретних сигналів з наступною нормалізацією, фільтрацією, перетворенням у форму, що придатна для передачі по послідовному каналу зв'язку, а також забезпечує інформаційний обмін з ведучим вузлом мережі передачі даних на базі інтерфейсу RS-485 [25].

В системі використовуються шість датчиків “Сапфір” з вихідним уніфікованим сигналом постійного струму 0–20 мА для виміру рівня, розрідження, тиску і витрат.

Ці датчики будуть підключені до двох пристроїв віддаленого збору даних типу ADAM-4017H (8-канальний швидкодіючий модуль аналогового введення). Технічні характеристики цього модуля такі [29]:

- кількість і тип каналів аналогового введення – 8 диференційних;
- розрізнявальна спроможність АЦП – 12 розрядів і знак;
- типи вхідного сигналу – напруга (мВ, В), струм (мА);
- діапазони вхідного сигналу – напруга ± 250 мВ, ± 500 мВ, ± 1 В, ± 5 В; ± 10 В; 0-250 мВ; 0-500 мВ; 0-1 В; 0-5 В; 0-10 В; струм 0-20 мА; 4-20мА.
- напруга ізоляції – 3000В постійного струму;
- частота вибірки залежить від типу застосованого блоку центрального процесору.
- вхідний опір – 20 МОм при виміру напруги, 125 Ом при вимірі струму;
- смуга пропускання 1000Гц;
- похибка виміру $\pm 0,1$ %;
- коефіцієнт ослаблення завад загального виду на частоті 50Гц не менше 92Дб;
- потужність споживання 1,8 Вт.
- локальна установка діапазону вхідного сигналу.

Два модулі ADAM-4017H відмічені на схемі автоматизації позиціями 9 і 10.

Дистанційне керування виконавчим механізмами буде здійснюватися в системі за допомогою модулів релейної комутації типу ADAM-4060. Кожний з них має 2 нормально розімкнених вихідних каналів і 2 перемикаючих вихідних каналів. Для керування чотирма виконавчими механізмами системи застосуємо і чотири модулі цього типу.

Для віддаленого зв'язку модулів ADAM-4060 і ADAM-4017H з комп'ютером (12) АРМ оператора використаємо перетворювач інтерфейсів “RS485/RS 232” типу ADAM-4520 (11).

Величини рівня води (L1), тиску розрідження (P3), тиску подачі палива (P1) та тиску повітря (P2) регулюються програмними регуляторами за ПІД- законом, що реалізований в SCADA – системі.

3 Проєктування програмної частини системи

3.1 Вибір інструментальної системи проєктування

Інструментальні системи, що використовуються при проєктуванні програмного забезпечення АСУТП, поділяються на:

- системи SCADA;
- засоби баз даних;
- універсальні системи програмування.

Системи SCADA дозволяють виконувати весь комплекс проєктних робіт в єдиному інструментальному середовищі, в результаті чого можна не тільки швидко розробити проєкт програмного забезпечення системи, але і провести в режимі емуляції його тестування та настройку, використовуючи при цьому програмні моделі об'єктів управління [25, 27-29].

Головний недолік такої технології проєктування є зворотним боком його переваг. Швидкість проєктування і якість розроблювального ПЗ (ясність, стійкість, надійність, простота модифікації і налагодження) різко падають при спробі вийти за рамки стандартного набору функцій, здійснюваних засобами системи SCADA. Реалізація же нестандартних функцій зазвичай вимагатиме використання і додаткових ІЗ, і знання внутрішніх інтерфейсів і форматів даних (найчастіше незадокументованих). У результаті цього виявляється, що при реалізації будь-якої, навіть простої, нестандартної функції розробнику треба витратити більше зусиль, ніж при створенні решти ПЗ системи. Часто буває, що на якомусь етапі проєктування ПЗ або його модернізації раптом проявляється недостяга функціональність штатних засобів конкретної системи SCADA.

На відміну від систем SCADA, засоби баз даних, зазвичай, застосовуються для проєктування і реалізації АСУ виробництвом або підприємством, тобто верхніх рівнів ІСУ. Тому ми не будемо розглядати їх детальніше для вибору інструментальної системи проєктування ПЗ АСУТП.

Третій клас інструментальних систем, які широко застосовуються в області промислової автоматизації, є інструментальні системи на основі розповсюджених універсальних мов програмування. Такі інструментальні системи, без сумніву, дають проєктувальнику найбільшу свободу дії. Застосовуючи ці сучасні інструментальні системи, можна, без сумніву, вирішити будь-яку проєктну задачу в області автоматизації. Проте, така свобода дій потребує і відповідної високої кваліфікації самого проєктувальника, в результаті чого, проєкт ПЗ, розроблений ним, буде вже набагато дорожчим, ніж при використанні систем SCADA. Крім того, такий програмний продукт важко буде супроводжувати і модифікувати, особливо якщо в цьому не може взяти участь сам проєктувальник.

Таким чином, виходячи з поставленої мети – зробити більш дешевий проєкт ІСУ, а зачистити і АСУТП, вибираємо в якості інструментальної системи

проектування ПЗ системи управління технологічним процесом промислового виробництва соляної кислоти саме систему SCADA.

У таблиці 3.1 перераховані за критеріями вибору найбільш популярні системи SCADA, що широко використовуються у світовій практиці.

Таблиця 3.1 – Показники систем SCADA за критеріями вибору

SCADA-системи	Технічна підтримка	Наявність розробників в Україні	Наявність у ВНТУ	Ціна, умов. од.
Delta (США)	–	+	–	9 328,00
Genesis (США)	+	+	–	9 985,20
Genie (Тайвань)	+	+	+	954,00
Festo (США)	–	–	–	8 421,70
InTouch 5.0 (США)	+	+	–	13 472,60
Monitor Pro (Німеччина – США)	+	+	–	3 763,00
RSView (США)	–	–	–	7 425,30
Sitex (Велика Британія)	+	+	–	6 545,50
Trace Mode (Росія)	+	+	+	3 127,00
WinCC (Німеччина)	+	–	–	12 449,70
Citect 6 (Австрія)	+	+	+	700,00

Треба відмітити, що аналіз ринку таких систем SCADA виявляє сталий процес вирівнювання їх функціональних можливостей, а також розширення їх відкритості до програмних та технічних засобів автоматизації від різних виробників. Тому вибір системи SCADA з наведеного переліку

можна зробити за умови її мінімальної вартості, розуміючи, що основні функціональні можливості цих систем приблизно однакові.

Як видно з таблиці 3.1, найдешевшими системами SCADA є «Genie» виробництва «ADVANTECH» [25], «Trace Mode» виробництва «ADASTRA» [29] та «Citect 6» виробництва «Citect Pty. Ltd» [28].

Враховуючи те, що інструментальну систему «Genie» я на практиці застосовував у курсовому проєкті з дисципліни «Проектування систем автоматизації», то вибираю саме цю систему для подальшого проектування ПЗ АСУТП промислової котельної установки.

3.2 Схема даних програмного забезпечення ПК оператора

Перед тим, як приступити до розробки за допомогою SCADA-системи Genie 3.0 програмного забезпечення ПК оператора АСУТП котельної установки, необхідно обумовити основні процедури та їх послідовності для обробки даних, що буде виконувати це програмне забезпечення. На рисунку 3.1 наведена схема даних проектованої системи управління, яка показує джерела даних, їх місця розміщення у пам'яті ПК АРМ оператора, а також процедури та результати обробки цих даних. Згідно до цієї схеми початкові дані надходять до програми через послідовний порт COM2 з модулів аналогового введення сигналів з датчиків технологічних параметрів. Ці дані являють собою певні пакети, які необхідно попередньо обробити програмним шляхом, наприклад, визначити дійсні значення вимірюваних величин по їх вхідним апаратним кодам.

Окремі дані передбачені для формування звіту (наприклад, середній рівень води в барабані казана, середній тиск подачі палива, середній тиск подачі води та інші). Виконується встановлена часова вибірка цих даних та їх зберігання у локальному історичному архіві. При необхідності оператор зможе сформулювати запит на огляд цього архіву у вигляді звіту на моніторі, або на виведення цього звіту на друк.

Основне призначення системи – контроль основних технологічних параметрів та управління технологічним процесом. Тому для цих параметрів оператор через клавіатуру встановлює границі їх контролю (мінімальна та максимальна). Над отриманими даними виконується програмна процедура перевірки на їх вихід за встановлені границі (наявність аварії). Будь-який факт аварії записується до файлу журналу аварій, який теж є локальним архівом. Крім запису до файлу кожна аварійна подія, що визначена системою, відображається на екрані монітору у вигляді технічної анімації, а також супроводжується виведенням на екран інформації про цю аварію з звуковим дублюванням.

Оператор через клавіатуру може викликати журнал аварій для огляду на моніторі, а також вносити корективи до роботи програмного забезпечення

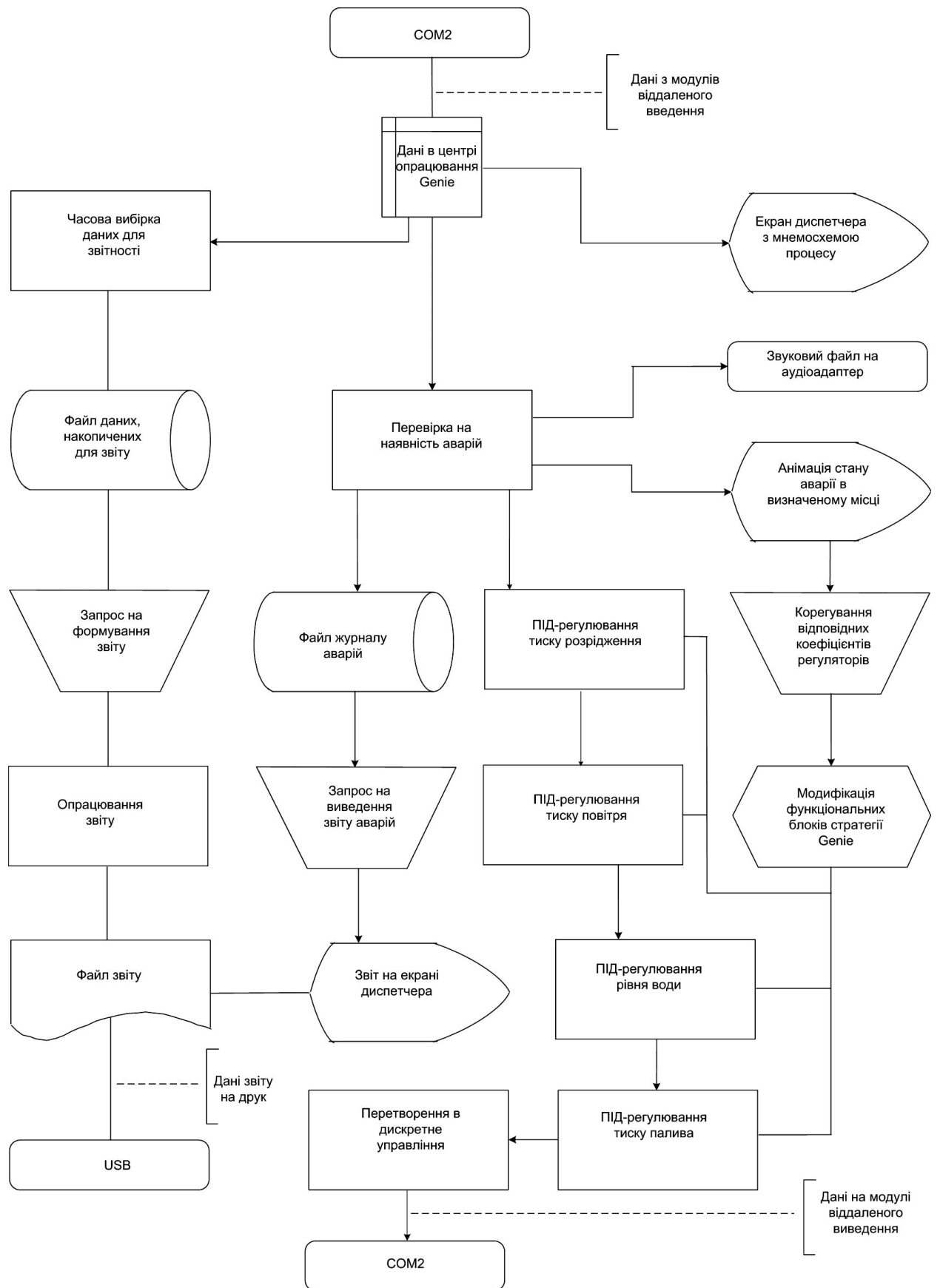


Рисунок 3.1 – Схема даних ПЗ персонального комп'ютера оператора

(встановлювати нові границі контролю, корегувати значення уставки та параметрів регуляторів). Система може виконувати і інші функції – розрахунки додаткових величин, статистичну обробку даних, підтримку зв'язку з системою управління верхнього рівня. Після виконання основних задач регулювання (регулювання розрідження, тиску повітря, тиску води і рівня води) виконується процедура виведення сигналів управління через модулі дискретного виведення ADAM-4060 на виконавчі механізми системи. На цьому закінчується цикл обробки даних системою.

Після витримки встановленого часового періоду роботи системи запускається наступний цикл обробки даних - формується запит нових даних з модулів аналогового введення системи і виконується описаний вище процес їх обробки.

3.3 Розробка стратегії управління в середовищі SCADA «Genie»

Розробка ПЗ персонального комп'ютера оператора АСУТП починаємо із створення загальної стратегії управління в редакторі задач SCADA «Genie». Графічний лістинг цієї стратегії у вікні редактора задач наведений в додатку В до пояснювальної записки.

Введення сигналів датчиків системи здійснюється через спеціальний функціональний блок аналогового введення “AI1”. Через цей блок данні поступають у виконавче середовище SCADA. Налаштування блока приведена на рисунку 3.2.

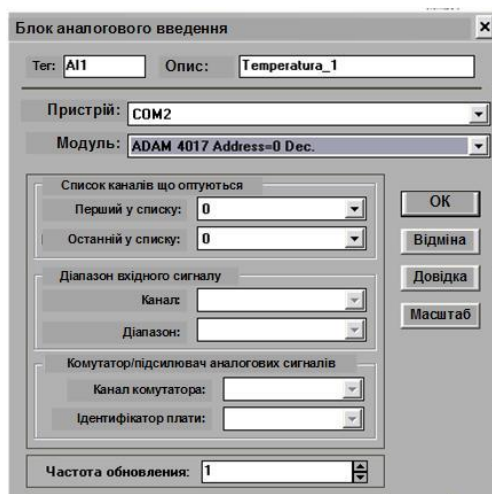


Рисунок 3.2 – Вікно настройки блока аналогового введення

Блок аналогового введення “AI1” через порт COM2 підключений до модулю ADAM 4017H. Усі контрольовані параметри з виходу блоку “AI1” поступають на, так звані, блоки – “ТЕГ”, які забезпечують доступ до

кожного вимірюваного параметру у межах усієї стратегії.

Блок аналогового введення з'єднується з блоками "ТЕГ" за допомогою каналів (рисунок 3.3).

Кожний блок "ТЕГ" підключений до окремого вихідного каналу блоку "АІ1"..

Блоки "ТЕГ" умовно поділяються на дві групи:

- рівень – блок "TAG26" (рівень води в котлі);
- тиск – блок "TAG21" (тиск розрідження), блок "TAG22" (тиск повітря); блок "TAG22" (тиск води); блок "TAG24" (тиск палива).

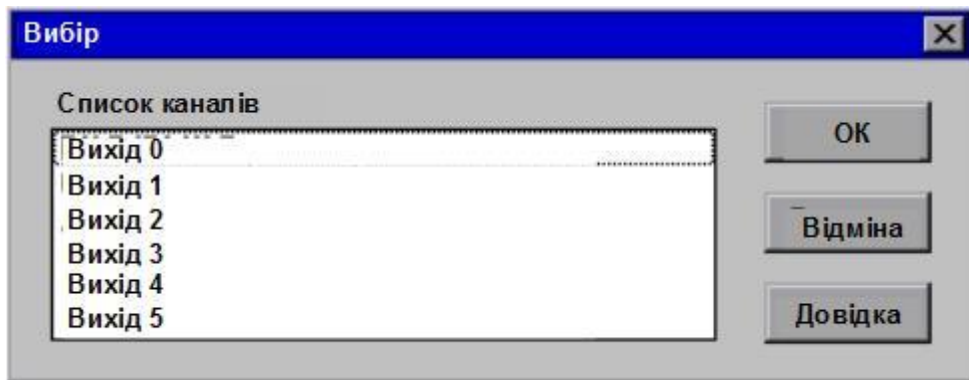


Рисунок 3.3 – Вікно вибору каналів блоку аналогового введення

Кожний блок "TAG", тобто кожна виміряна величина, має свої діапазони зміни. Вихід за ці границі може призвести до аварії, тому на кожен параметр поставлено блоки сигналізації та реєстрації.

Панель настройки блоку архіву тривог зображена на рисунку 3.4.

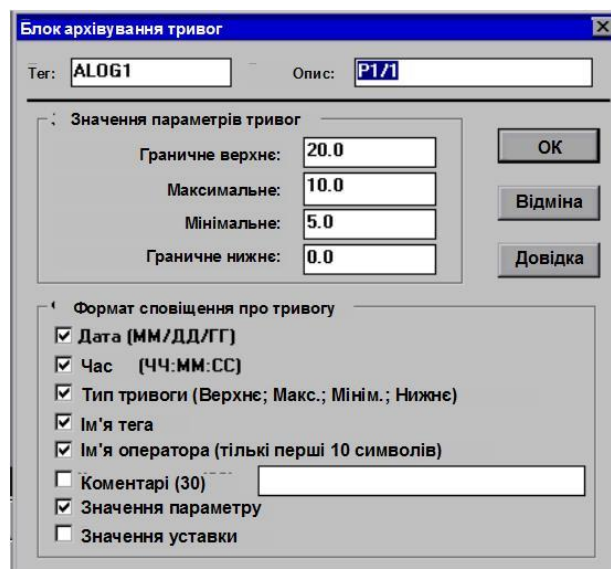


Рисунок 3.4 – Панель настройки блоку архіву тривог

Даний блок призначений для зберігання в архіві інформації про зафіксовані аварійні події, пов'язаних з сигналом, що надходить на вхід блока архіву тривог. Блок має вхід і вихід. Тривоги фіксуються у файлі архіву подій (\GENIE\GENIE.ELF). Повідомлення про аварійні події можуть відображатися у вікні журналу подій і підтверджуватися користувачем у процесі виконання стратегії, коли значення на вході блока потрапляє в такі діапазони:

- вище верхнього граничного значення;
 - між максимальними і верхніми граничним значеннями;
 - між максимальним і мінімальним значеннями;
 - між мінімальними і нижніми граничним значеннями;
- нижче нижнього граничного значення.

На виході блоку присутнє ціле число, що відповідає події, зафіксованій блоком.

Це дозволяє подавати інформацію про аварійні події в графічній формі шляхом встановлення зв'язку між блоком архіву тривог і елементом відображення “растрове зображення з динамізацією за умовою”.

Залежність значень на виході блока від зафіксованого блоком події приведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Залежність вихідного сигналу блоку архіву тривог від характеру аварійної події

Аварійна подія (значення на вході блока)	Значення на виході блока
Вище верхнього граничного значення	4
Між максимальними і верхніми граничним значеннями	2
Між максимальним і мінімальним значеннями	0
Між мінімальними і нижніми граничним значеннями	1
Нижче нижнього граничного значення	3

Блок має один вхід, на який може надходити сигнал від іншого функціонального блока стратегії. Значення на вході перевіряється блоком на входження в межі, задані в групі параметрів Значення параметрів тривоги діалогової панелі налагодження параметрів блока в процесі розробки стратегії.

Блок архіву тривог з'єднано з блоком відтворення звукового файлу за умовою. В цьому блоці встановлюється шлях до файл, який буде відтворено при аварії. На кожен можливу аварійну ситуацію записано звуковий файл, який повідомляє оператора про наявність аварійної ситуації. Налаштування блока приведена на рисунку 3.5.

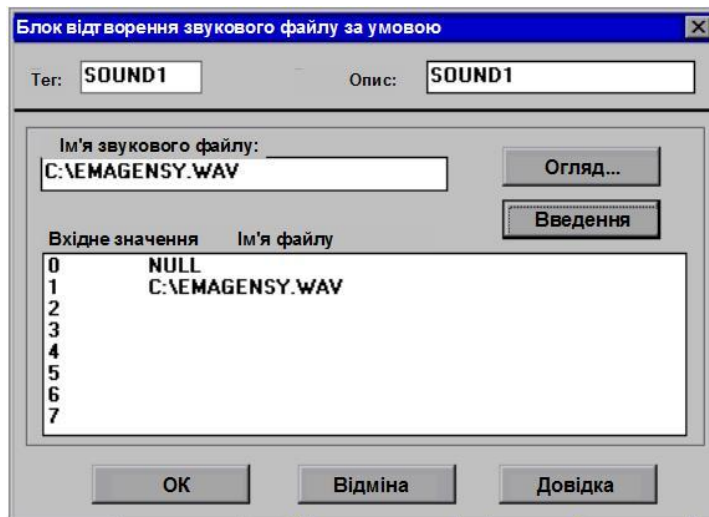


Рисунок 3.5 – Вікно настройки блоку відтворення звукового файлу за умовою

Даний блок має один вхід, на який може надходити ціле число в діапазоні від 0 до 7 від іншого функціонального блока стратегії, і призначений для відтворення звукових файлів у процесі виконання стратегії за допомогою звукового адаптеру, що входить до складу комп'ютера. Кожному значенню може відповідати окремий звуковий файл.

За величиною тиску повітря, води, палива, розрідження регулюється переміщення виконавчого механізму, який змінює (зменшує чи збільшує) потік речовин. Регулювання здійснюється за допомогою ПІД - регулятора.

Для цього використовуємо ПІД регулятор. Налаштування блоку ПІД - регулятора зображена на рисунку 3.6.

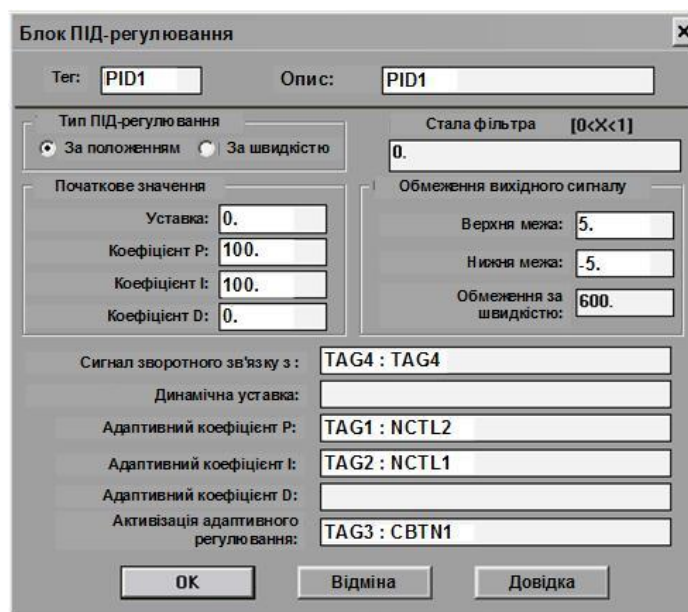


Рисунок 3.6 – Вікно настройки блоку ПІД регулятора

Даний блок має входи і вихід керування. Один з входів призначений для введення вимірюваного значення сигналу зворотного зв'язку від об'єкта керування. Крім того, по одному з входів може вводиться динамічно змінюване значення уставки (значення стабілізації). Вихід блока призначений для видачі сигналу регулювання, що зв'язується з аналоговим виходом фізичного пристрою, що безпосередньо здійснює керування.

ПІД-регулятор призначений для стабілізації заданого параметра в контурі автоматичного керування з пропорційно-інтегрально-диференціальним законом регулювання. При цьому стабілізований параметр контролюється датчиком, вихідний сигнал якого подається на вхід зворотного зв'язку блока, а стабілізація зазначеного параметра поблизу попередньо заданого або динамічно змінюваного значення виконується вихідним сигналом регулятора з використанням ряду його додаткових параметрів.

ПІД є одним з найбільш широко поширених законів регулювання. Він дозволяє підбудовувати керуючий вплив відповідно до заданого постійними часу в залежності від динаміки керованого процесу.

Зазначена можливість забезпечує настільки широке визнання, що одержала пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання. Регулювання здійснюється шляхом мінімізації значення неузгодженості (помилки), одержуваного шляхом вирахування сигналу зворотного зв'язку з уставки (значення стабілізації). ПІД-регулятор є одним із найбільш ефективних типів регуляторів.

Коефіцієнти регулятора можуть бути змінені "на літу" (динамічно) шляхом подачі їхніх значень на відповідні входи блока ПІД-регулювання від інших функціональних блоків стратегії. Адаптивне регулювання буде виконуватися тільки в тому випадку, коли приєднаний і активний вхід блока Активізація адаптивного регулювання.

При використанні динамічно змінюваних коефіцієнтів регулятора на вхід Активізація адаптивного регулювання варто подати сигнал високого рівня від іншого функціонального блока стратегії. Іншими словами, для реалізації адаптивного регулювання варто підключити входи P, D, I і

Активізація адаптивного регулювання до виходів інших функціональних блоків стратегії. При цьому статичні коефіцієнти регулятора, задані у відповідних полях діалогової панелі, використовуватися не будуть. Розглянемо вхідний зв'язок ПІД регулятора (рисунок 3.7).

Блок ПІД - регулювання має шість входів:

- зворотній зв'язок;
- уставка;
- коефіцієнт P;
- коефіцієнт I;
- коефіцієнт D;
- активізація адаптивного регулювання.

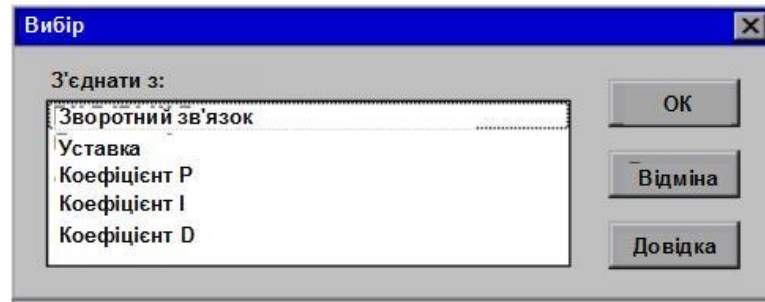


Рисунок 3.7 – Вікно настройки входних зв'язків ПІД регулятора

Коефіцієнти P, I та D вводяться оператором і можуть змінюватися на протязі всього процесу через ТЕГи інкрементних регуляторів. Вхід - активізація адаптивного регулювання з'єднаний з ТЕГом кнопки активізації BBTN1...BBTN4. Уставки вводяться оператором через інкрементний регулятор через ТЕГ – NCTL12, NCTL16, NCTL8, NCTL2 і можуть змінюватися на протязі всього процесу. Вихідна величина поступає на блок двохпозиційного регулювання. Настройка блоку приведено на рисунку 3.8.

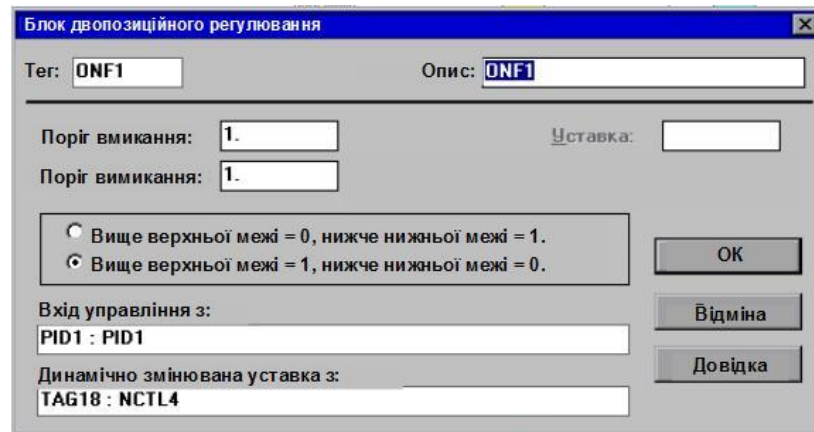


Рисунок 3.8 – Настройка блоку двохпозиційного регулювання

Даний блок призначений для реалізації найпростішого алгоритму двохпозиційного керування і має вхід, на який подається сигнал зворотного зв'язку від об'єкта керування, і дискретний вихід, логічний стан якого залежить від поточного значення на вході, заданої уставки і значень порогів вмикання і вимикання.

Алгоритм непропорційного (двохпозиційного) регулювання складається в тому, що керований об'єкт перекладається регулятором в одне з двох станів (включений або виключений) у залежності від співвідношення між вимірюваними значеннями сигналу зворотного зв'язку, уставкою і порогамі вмикання/ вимикання. Поле "Уставка" повинне містити значення, з яким зрівнюється сигнал зворотного зв'язку на вході блока. Уставка може бути фіксованої або динамічно змінюваної сигналом від іншого

функціонального блока стратегії. Поле “Поріг вимикання” повинно містити значення, що визначає зону нечутливості регулятора при формуванні вихідного сигналу, що виключає об’єкт керування. Нижня межа регулювання визначається шляхом вирахування порога вимикання зі значення уставки. Поле “Поріг включення” повинно містити значення, що визначає зону нечутливості регулятора при формуванні вихідного сигналу, що включає об’єкт керування. Верхня межа регулювання визначається шляхом підсумовування порога вимикання і значення уставки.

Блок двохпозиційного керування має два входи (рисунок 3.9): вхід зворотного зв'язку та вхід уставки. Блок має один дискретний вихід, логічний стан якого може бути передано іншим функціональним блокам або елементам відображення стратегії.

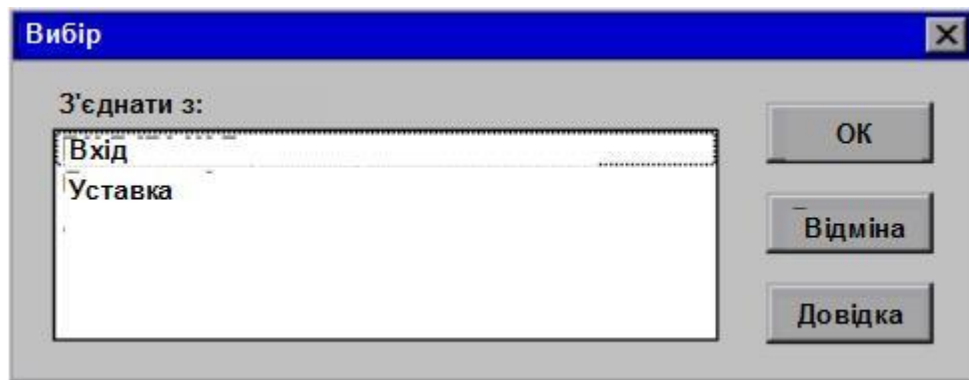


Рисунок 3.9 - Налаштування входу блока двохпозиційного керування

Вихід блоку з'єднаний з блоком дискретного виведення. Налаштування блоку зображене на рисунку 3.10.

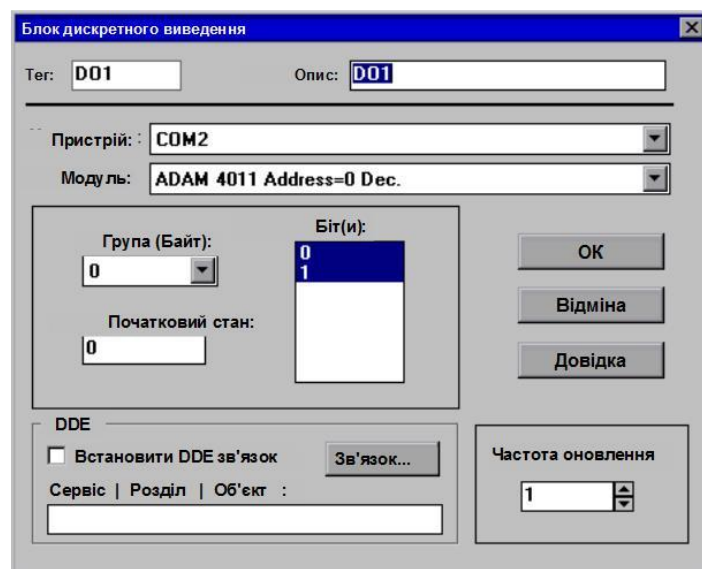


Рисунок 3.10 – Налаштування блоку дискретного виведення

Даний функціональний блок призначений для передачі інформації, одержуваної від інших функціональних блоків, елементів відображення або інших додатків Windows за допомогою механізму динамічного обміну даними (DDE), пристроям, що мають підсистему виводу дискретних сигналів. Блок з'єднаний з пристроєм ADAM 4520 через порт COM2, який в свою чергу з'єднаний з ADAM 4060 – модулем релейної комутації, який керує пускачем двигуна (закривати або відкривати заслінку). Усі блоки за інформацією про зміну параметрів котельної установки з'єднані з блоком архівації даних. Налагодження блоку показане на рисунку 3.11.

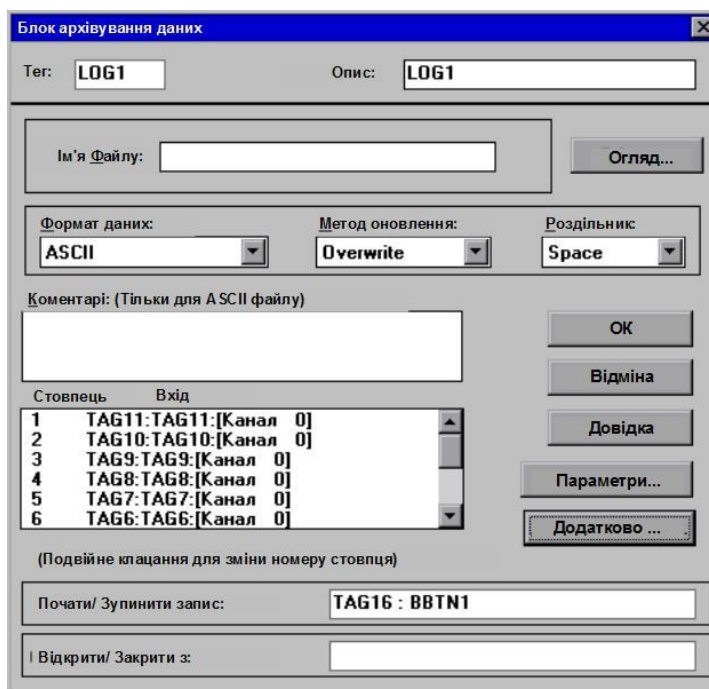


Рисунок 3.11 – Налагодження блоку архівації даних

Даний блок призначений для запису у файл інформації, що надходить на його входи. Інформація зберігається у файлі і представляється в форматі ASCII. Налагодження входів блоку наведено на рисунку 3.12.

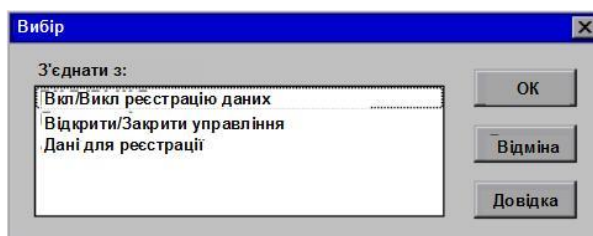


Рисунок 3.12 - Налагодження входів блоку архівації даних

Блок має входи:

- “ВКЛ/ВИКЛ реєстрацію даних”;
- “Відкрити/Закрити керування”;
- “Дані для реєстрації”.

На вхід “Дані для реєстрації” подається інформація з усіх датчиків (блоків “ТЕГ”). Оператор за допомогою кнопки “Реєстрація даних”, яка підключається до блоку за допомогою ТЕГа “ВВТН5”, включає чи виключає процес реєстрації даних.

3.4 Проектування графічного ЛМІ оператора

Графічний ЛМІ оператора АСУТП складається з графічного зображення самого процесу (мнемосхема) та об’єктів відображення його поточних параметрів. Для відображення поточних значень тиску води, палива, повітря, розрідження та рівня води в барабані казана використовуються стрілочні індикатори. Зображення такого індикатора наведено на рисунку 3.13.

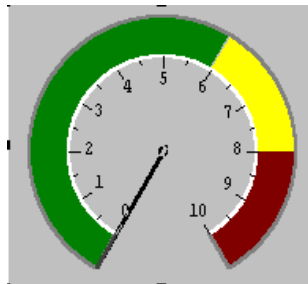


Рисунок 3.13 – Зображення стрілочного індикатора

Панель настройки стрілочного індикатора наведена на рисунку 3.14.

Даний елемент відображення дозволяє подавати інформацію від пов'язаного з ним функціонального блока на графічний аналог стрілочного індикатора. Стрілочний індикатор може бути розміщений у вікні форми відображення і пов'язаний з одним із виходів функціонального блока стратегії. Є можливість вибору кількості, кольорів і розмірів сегментів, на які розділяється внутрішня область індикатора. Ідентифікатор пов'язаного функціонального блока відображається в полі Ввід з діалогової панелі. Далі є можливість установити діапазон значень, відображуваних індикатором, кількість, кольори і розміри сегментів, орієнтацію індикатора і значення, відображуване індикатором при запуску стратегії на виконання. Може бути визначено до п'яти сегментів, на які ділиться шкала індикатора, а також установлені їх кольори і початкові/кінцеві значення.

Перемикач “Показати поділи” дозволяє включити або відключити

мітки на шкалі індикатора.

Рисунок 3.14 – Панель настройки стрілочного індикатора

Поле “Начало шкали” дозволяє встановити мінімальне значення, відображуване на індикаторі.

Поле “Кінець шкали” дозволяє встановити максимальне значення, відображуване на індикаторі.

Поле “Кількість поділів” дозволяє встановити загальну кількість міток на шкалі індикатора.

Поле “Мінімальний дозвіл” дозволяє встановити загальну кількість рівнів квантування пов'язаного параметра, відображуваних індикатором.

Поле “Орієнтація” дозволяє встановити орієнтацію індикатора (Up вгору, Down вниз, Left вліво, Right вправо).

Поле “Початкове значення” дозволяє встановити значення, відображуване індикатором при запуску стратегії на виконання.

Поле “Кількість сегментів” дозволяє встановити кількість сегментів, на яке буде розділена шкала індикатора.

Група параметрів “Сегмент1 – 5”, “Початок”, “Кінець”, “Колір” дозволяє встановити початок кінець і колір кожного сегмента, на які розділена шкала індикатора.

Один стрілочний індикатор підключений до ТЕГу “TAG23” (тиск

води), а другий до “TAG24” (тиск палива), третій до “TAG22” (тиск повітря), четвертий до “TAG21” (тиск розрідження).

Стрілочні індикатори дубльовані цифровими індикаторами. Налагодження цифрового індикатора зображене на рисунку 3.15

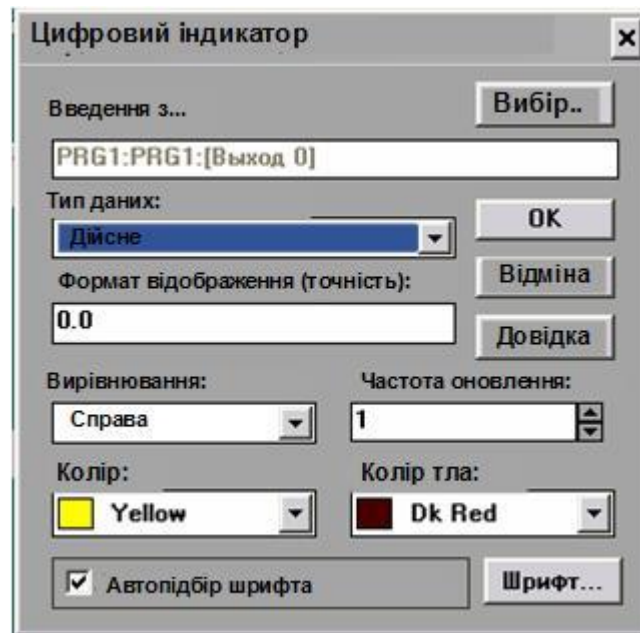


Рисунок 3.15 – Налагодження цифрового індикатора

Елемент відображення “Цифровий індикатор” може бути поміщений у вікно форми відображення і зв'язаний з вихідною змінною функціонального блока задачі, що входить у стратегію. Є можливість установки необхідних розмірів індикатора. Цифровий індикатор може використовуватися для відображення дійсних (з плаваючою точкою) і цілих змінних, а також текстових рядків. Крім того, є можливість установки необхідної кількості цифр після десяткової точки при відображенні дійсних значень. Також можливий вибір типу шрифту, його кольору і розміру, а також методу вирівнювання відображуваного значення або рядка.

Відображення тиску відбувається за допомогою індикаторів, які змінюють свій колір в залежності від встановлених верхньої та нижньої межі тиску на первинному вимірювальному приладі, який формує сигнал логічної “одиниці” на першому каналі, якщо тиск менше або дорівнює нижній межі, і сигнал логічної “одиниці” на другому, якщо тиск більше або дорівнює верхній межі датчика.

Цифрові індикатори підключені до блоку архіву тривоги для верхньої та нижньої межі, який на виході формує “одиницю” при появленні аварійної ситуації. Налагодження індикатора зображене на рисунку 3.16. Даний елемент відображення являє собою одиничний індикатор, призначений для

відображення логічного стану пов'язаного з ним дискретного виходу функціонального блока стратегії.

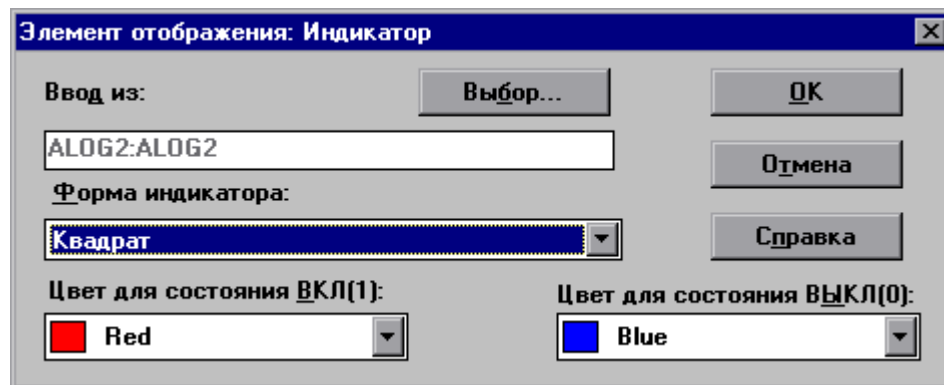


Рисунок 3.16 – Налаштування індикатора

Індикатор переводиться в стан Включений тільки появленні логічної одиниці на виході пов'язаного з ним функціонального блока. Індикатор переводиться у стан Виключений при появленні логічного нуля на виході пов'язаного з ним функціонального блока. Розміри, форма і колір індикатора в різних станах можуть бути встановлені за допомогою діалогової панелі налаштування параметрів індикатора.

Для відображення рівня води в барабані використовується елемент відображення – лінійний індикатор (рисунок 3.17).

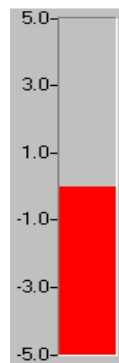


Рисунок 3.17 – Лінійний індикатор

Даний елемент відображення призначений для графічного представлення параметра, що надходить від приєднаного функціонального блока стратегії, у виді зафарбованого прямокутника, довжина однієї зі сторін якого змінюється пропорційно розміру параметра. Елемент відображення може бути пов'язаний з одною з змінних задачі, що входить у стратегію. Є можливість вибору кольору і розміру рухливої частини індикатора.

Лінійні індикатори з'єднані з ТЕГами, які відповідають за рівень води

“TAG26”.

За допомогою інкрементних регуляторів (рисунок 3.18) оператор вносить та змінює уставки для ПІД - регулятора та також параметри (П, І та D) ПІД регулятора. Налаштування регулятора показане на рисунку 3.19.



Рисунок 3.18 – Інкрементний регулятор

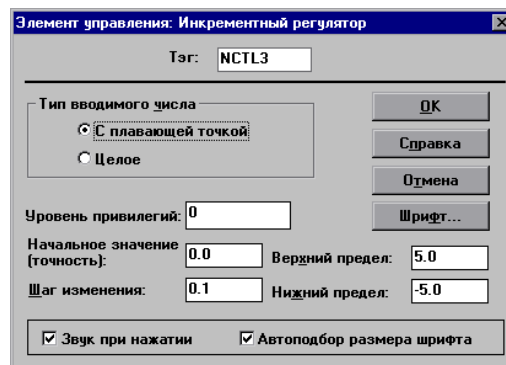


Рисунок 3.19 – Налаштування інкрементного регулятора

Елемент керування “Інкрементний регулятор” може бути поміщений у вікно форми відображення і зв’язаний з вхідною змінною функціонального блока задачі, що входить у стратегію, і/або елементами відображення. Є можливість установки необхідних розмірів регулятора. Інкрементний регулятор призначений для введення оператором числових значень за допомогою клавіатури або миші і передачі введених значень зв’язаному функціональному блоку стратегії, що дозволяє реалізовувати функції оперативного диспетчерського керування. Введені значення можуть бути цілого або дійсного типу. Формат введеного значення (кількість цифр після десяткової точки) може бути встановлений тільки для дійсних чисел.

Основний екран графічного ЛМІ оператора, що розроблений в редакторі форм відображення SCADA “Genie”, наведений в додатку Г.

3.5 Програмне забезпечення для формування звітності

Звіт про роботу АСУТП промислової котельної установки розробляється за допомогою підпункту “Звіт” пункту головного меню “Налаштування”. Звіт формується за допомогою редактору звітів (рисунок 3.20).

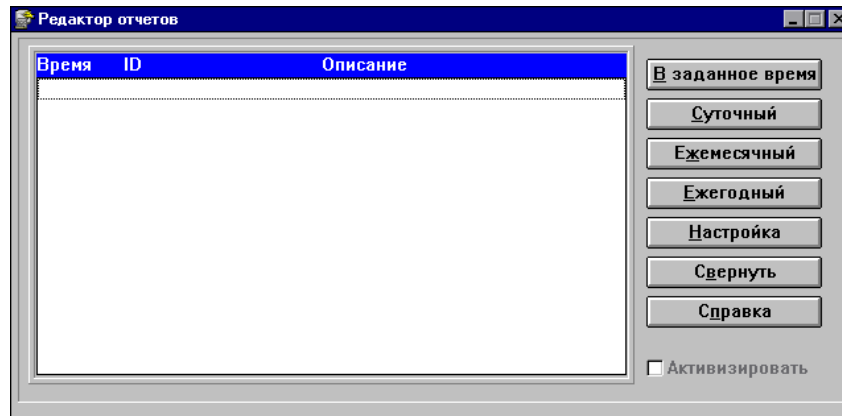


Рисунок 3.20 – Вікно редактору звітів

В редакторі вибирається тип звіту (в заданий час, добовий, місячний, річний). В пункті налагодження вибирається каталог, де буде розміщуватись звіт та термін його зберігання. Для системи автоматизації котельної установки достатньо добового звіту, в якому буде зберігатися максимальні та мінімальні величини контрольованих параметрів за добу. В пункт “Статус друкування” встановимо “Виключено”. При необхідності оператор сам роздрукує звіт (файл *.frm).

Налагодження формату звіту приведене на рисунку 3.21.

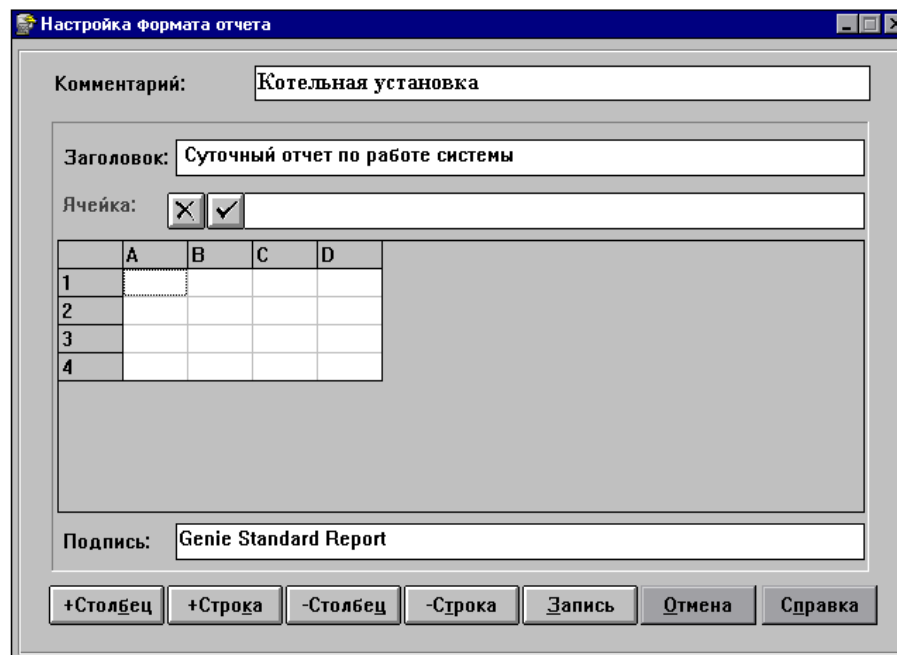


Рисунок 3.21 – Налагодження формату звіту

Таблица звіту підтримує таблиці Excel і має спеціальні значення, які наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Спеціальні значення комірок таблиці Excel

Символ	Формат	Опис	Приклад
&	H	Рядок символу Заголовка Повідомлення	&Hcentral Air Report
&	T	Нижній Колонтитул символу рядка Повідомлення	&Tgenie Standard Report
\$	MAX	Максимальна величина певного TAG за період звіту	\$MAX(@TASK1#AI1[01])
\$	MAXT	Запис часу перевищення змінної max. Значення	\$MAXT(@TASK1#AI1[01])
\$	MIN	Мінімальне значення TAG за період звіту	\$MIN(@TASK1#AI1[01])
\$	MINT	Запис часу коли перемінна менше min. Значення	\$MINT(@TASK1#AI1[01])
:	Aaaaa	Текст, що повинний відображатися, коли величина повернута з точки TAG дорівнює нулю. Мах. 20 символів. Використане головним чином для Цифрових Вхідних точок TAG	\$NOW(@TASK1#DI1[01]:Open Close)
	Bbbbb	Текст, що повинен відображатися, коли величина повернута з точки TAG не дорівнює нулю. Мах. 20 символів. Використане головним чином для Цифрових Вхідних точок TAG	\$NOW(@TASK1#DI1[01]:Open Close)
\$	DATE	Поточна Дата	\$DATE
\$	TIME	Поточний Час	\$TIME
ЎA		Поділ Стовпчика з вертикальним рядком	
ЎF		Поділ Стовпчика без вертикального рядка	

Оформлення звіту наведено в таблиці 3.4. Звіт дозволяє оператору, а також керівництву заводу отримувати оперативні дані про роботу котельної

установки за попередній відрізок часу, який в даному проекті дорівнює одній добі.

Звіт формується автоматично і при необхідності можна встановити точний момент часу, коли звіт або буде виведений на екран диспетчера, або буде надісланий за вказаною адресою в мережі Ethernet або Internet.

Можлива пересилка звіту по локальній мережі CAN, яка підтримується SCADA “GENIE”.

Таблиця 3.4 - Оформлення звіту в системі Genie

Добовий звіт	Дата	Час		
&H	\$DATE	\$TIME	Аварії (год.)	
Тиск	MAX	MIN	MIN	MAX
Повітря	\$MAX(@TAS K1#TAG22)	\$MIN(@TAS K1#TAG22)	\$MINT(@TA SK1# TAG22)	\$MAXT(@TA SK1# TAG22)
Палива	\$MAX(@TAS K1#TAG24)	\$MIN(@TAS K1#TAG24)	\$MINT(@TA SK1# TAG24)	\$MAXT(@TA SK1# TAG24)
Розрідження	\$MAX(@TAS K1#TAG21)	\$MIN(@TAS K1#TAG21)	\$MINT(@TA SK1# TAG21)	\$MAXT(@TA SK1# TAG21)
Води	\$MAX(@TAS K1#TAG23)	\$MIN(@TAS K1#TAG23)	\$MINT(@TA SK1# TAG23)	\$MAXT(@TA SK1# TAG23)
Рівень				
Води в котлі	\$MAX(@TAS K1#TAG26)	\$MIN(@TAS K1#TAG26)	\$MINT(@TA SK1# TAG26)	\$MAXT(@TA SK1# TAG26)

На цьому проектування програмного забезпечення ПК оператора АСУТП промислової котельної установки закінчене.

Висновки

В результаті виконання даної бакалаврської кваліфікаційної роботи у формі проєкту була розроблена на основі рекомендацій діючих стандартів концепція функціональної структури нової інтегрованої системи автоматизації промислової котельної установки. Ця система у порівнянні з існуючими аналогічними системами дозволяє не тільки управляти технологічним процесом, але і виконувати окрему функцію управління всім виробничим процесом підприємства в цілому.

В рамках такої системи, використовуючи інструментальну систему SCADA «Genie», була спроектована автоматизована система управління технологічним процесом (АСУТП) промислової котельної установки. Для цього був проведений аналіз технологічного процесу як об'єкту автоматизованого управління, зроблений обґрунтований вибір програмно-апаратних засобів автоматизації, розроблені електрична структурна схема АСУТП та її функціональна схема автоматизації, а також спроектовані окремі програмні модулі ПЗ системи та графічний ЛМІ для ПК оператора.

Для утворення розробленої структури АСУТП були застосовані модулі віддаленого введення/виведення фірми «Advantech».

Література

1. Olsson, G., Piany, J.. Computer systems for automation and control [Електронний ресурс] / URL : <http://www.philadelphia.edu.jo/newlibrary/pdf/file095f62f119bb471591fd8f273ac06353.pdf>.
2. Комплексна автоматизація технологічних процесів [Електронний ресурс] / URL : <https://extremeltd.ua/solutions/industrial-automation/>.
3. Барладін М.М., Папінов В.М. Інтегрована система автоматизації промислової котельної установки (концептуальне рішення)/ Матеріали LIV НТК підрозділів Вінницького національного технічного університету (Вінниця, ВНТУ, 24-27 червня 2025 року) [Електронний ресурс] / URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2025/paper/view/24225/20002>.
4. Колесников В.А., Нечаєв Ю.Г. Теплосилаве господарство цукрових заводів: Навчальний посібник для вузів. - Харків: Харчова промисловість, 1980. – 345с.
5. Технологія виробництва цукру з цукрових буряків [Електронний ресурс] / URL : <http://referat.niv.ua/referat/023/02300003.htm>.
6. Сідельковський Л.М., Юренєв В.М. Котельні установки промислових підприємств: Підручник для вузів. - К: Енергоатомвидав, 1988. – 528 с.
7. Деєв Л.В., Балахнічев Н.А. Котельні установки та їх обслуговування. Практичний посібник для ПТУ. - К.: Вища школа, 1990. – 239 с.
8. Зиков А.К. Парові та водогрійні котли: Довідковий посібник. - К: Енергоатомвидав, 1987. – 128 с.
9. Волошин З.С., Макаренко Л.П., Яцковський П.В. Автоматизація цукрового виробництва. - К.: Агропромвидав, 1990. – 380 с.
10. Комп'ютерна автоматизація цукробурякових заводів (сайт холдингу ТОВ "Кред") [Електронний ресурс] / URL: <http://www.citynet.odessa.ua/sugar/>.
11. Сайт фірми TMA Content. Напрямок діяльності [Електронний ресурс] / URL: <http://www.tma.ua/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=2>.
12. Яковлев О. Системи автоматизації технологічних процесів цукрового виробництва/ Яковлев О., Танцюра С., Войтюк О., Рудаков Ю., Латишев С., Волков В., Рак М., Круглий Н.// Сучасні технології автоматизації. – 2010. - №1. – С.44-53.
13. Корпорація "СКІФ": Система автоматизації ТЕЦ [Електронний ресурс] / URL: http://www.skifcorp.com.ua/article.php?id=26&l=_r
14. Інформаційно-аналітична система управління цукровим виробництвом на базі рішень "Proficy" компанії "GE Fanuc" (Відкрите Акціонерне Товариство «Червонський цукровик», Україна) [Електронний ресурс] / URL: <http://www.indusoft.com.ua/articles.php?id=335>.
15. Група Компаній CTS: Реалізовані проекти [Електронний ресурс] / URL: <http://www.ctsgroup.com.ua/ru/projects/?pid=302>.

16. TRACE MODE в АСУТП ТЕЦ цукрового заводу [Електронний ресурс] / URL: http://www.tracemode.ua/apps/food/sugar/news/asutp_tec_sah/.
17. Закрите акціонерне товариство "Сєвєродонецьке науково-виробниче об'єднання "ІМПУЛЬС": АСУ ТП цукрового заводу [Електронний ресурс] / URL: <http://www.imp.lg.ua/sugar.html>.
18. ТОВ "TICER": Комплекс програмного забезпечення для управління процесом цукрового виробництва [Електронний ресурс] / URL: http://tiser.kiev.ua/oborudov/Sugar/komplex_PO.htm.
19. Пупєна О., Ельперін І., Міркевич Р. Огляд сучасних стандартів інтегрованого виробництва// Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. - Т.8. - №3. – 2016.
20. ISA-88/95/106 в Україні [Електронний ресурс] / URL : <https://sites.google.com/site/isa88inua/home>.
21. Пупєна О. М. Практичні рекомендації до реалізації елементів стандарту ІЕС 61512 в програмному забезпеченні систем керування/ О. М. Пупєна, Р. М. Міркевич, О. М. Клименко. – К: АППАУ, ТК 185 «Промислова автоматизація», 2020. – 46 с.
22. MESA Model: A Framework for Smarter Manufacturing [Електронний ресурс] / URL : <https://mesa.org/topics-resources/mesa-model/>.
23. Shraddha Kakade. Manufacturing execution system (MES) [Електронний ресурс] / URL : <https://www.techtarget.com/searcherp/definition/manufacturing-execution-system-MES>.
24. Itskovich Emmanuil. Fundamentals of Design and Operation of Manufacturing Execution Systems (MES) in Large Plants [Електронний ресурс]/ URL: <https://dplp.org/rec/conf/mim/Itskovich13.bib>.
25. Все необхідне для автоматизації на базі PC: Каталог продукції фірми ADVANTECH. – Prosoft, 2017. – 490 с.
26. Офіційний сайт компанії "СВ АЛТЕРА" в Україні [Електронний ресурс]/ URL: www.svaltera.ua.
27. Призначення, структура і основні функції SCADA – систем [Електронний ресурс]/ URL: <http://www.votum.if.ua/uk/publications/scada.htm>.
28. Системи візуалізації. SCADA-системи [Електронний ресурс]/ URL: <http://www.svaltera.zp.ua/?inc=prod/scada/>.
29. SCADA система TRACE MODE [Електронний ресурс]/ URL: <http://www.tracemode.ua/products/dev/scada>.

Додатки

Додаток А
(обов'язковий)

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри АІТ
д.т.н., професор Олег БІСІКАЛО

“ 23 ” березня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на бакалаврську кваліфікаційну роботу (у формі проєкту)
«Інтегрована система автоматизації промислової котельної установки»
08-31.БКР.002.02.000 ТЗ

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи:
проф. каф. АІТ Володимир ПАПІНОВ

“ 23 ” травня 2025 р.

Розробив студент гр. АКІТР-23мс
Максим БАРЛАДІН

“ 23 ” травня 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

1 Назва і галузь застосування

Інтегрована система автоматизації (ІСА) промислової котельної установки.

ІСА призначена для роботи у складі системи автоматизованого управління цукровим заводом.

2 Підстава для розробки та назва організації, що проектує

Розробку ІСА проводити на підставі наказу по ВНТУ № 97 від 20.03.2025 р. та індивідуального завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу у формі проєкту, складеного та затвердженого кафедрою автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ВНТУ.

3 Мета та призначення розробки

ІСА призначена для управління виробничим процесом, заснованим на технічному процесі, схема якого наведена на рисунку 1.

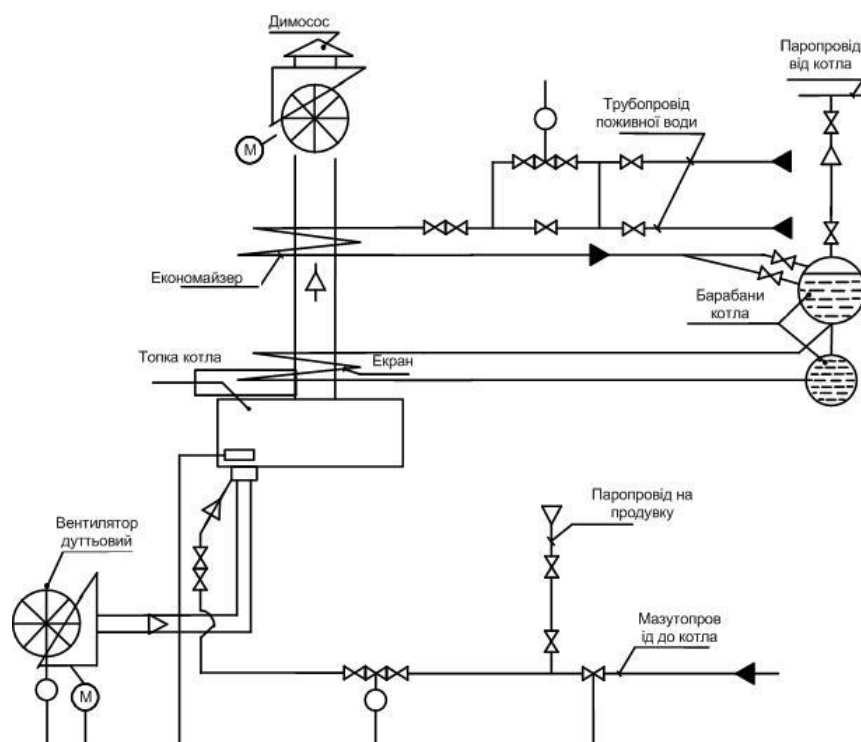


Рисунок 1 – Типова схема технічного процесу промислової котельної установки

Метою розробки є отримання кращого за техніко-економічними показниками рішення ІСА у порівнянні з існуючими аналогами.

ІСА будується за ієрархічним принципом. На нижньому рівні управління функціонує автоматизована система управління технічним процесом (АСУТП), а на верхньому рівні – автоматизована система управління виробництвом (АСУВ).

4 Джерела розробки

1. Волошин З.С., Макаренко Л.П., Яцковський П.В. Автоматизація цукрового виробництва. - К.: Агропромиздат, 1990. – 380 с.
2. Яковлев О. Системи автоматизації технологічних процесів цукрового виробництва/ Яковлев О., Танцюра С., Войтюк О., Рудаков Ю., Латишев С., Волков В., Рак М., Круглий Н.// Сучасні технології автоматизації. – 2010. - №1. – С.44-53.
3. Пупена О., Ельперін І., Міркевич Р. Огляд сучасних стандартів інтегрованого виробництва// Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. - Т.8. - №3. – 2016.

5 Показники призначення

5.1 Виробничі умови експлуатації АСУТП

Система управління відноситься до стаціонарної радіоелектронної апаратури, що працює в опалювальних приміщеннях :

- температура оточуючого середовища $t_{\min}=10^{\circ}\text{C}$, $t_{\max}=55^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість при $t=25^{\circ}\text{C}$ становить 80%;
- механічні впливи відсутні;
- вібрація в діапазоні частот від 10 до 30 Гц;
- максимальне віброприскорення $19,6 \text{ м/с}^2$;
- лінійне прискорення відсутнє;
- знижений атмосферний тиск 61 кПа.

Спостерігається наявність загальнопромислових електромагнітних завад.

5.2 Основні характеристики об'єкту управління

Основними характеристиками об'єкту управління, що впливають на алгоритм роботи системи управління є:

- рівень живильної води в барабанах котла;
- тиск розрідження;
- тиск подачі палива;
- тиск подачі повітря.

Характеристики речовини, яку виробляє технологічне обладнання:
пар – результат фізичного процесу перетворення води при нагріванні.

Габаритні розміри технологічного обладнання:

- | | |
|--------------------------|------|
| - довжина мазутопроводу | 5 м; |
| - довжина економайзера | 8м; |
| - висота барабанів котла | 2м; |
| - довжина паропроводу | 3м; |
| - довжина екрана | 10м. |

5.3 Вихідні параметри, що регулюються

Регулюванню під час технологічного процесу підлягають наступні вихідні параметри:

- тиск палива (номінальне значення $P_1=1,5$ МПа , $P_{1_{\max}}= 1,7$ МПа, $P_{1_{\min}}=1,3$ МПа);
- тиск розрядження (номінальне значення $P_3= 25$ Па, $P_{3_{\max}}= 30$ Па, $P_{3_{\min}}=20$ Па);
- тиск повітря (номінальне значення $P_2=2$ кПа, $P_{2_{\max}}= 2,5$ кПа, $P_{2_{\min}}=1,5$ кПа);
- рівень води в барабанах (номінальне значення $L_1=1000$ мм, $L_{1_{\max}}=1010$ мм, $L_{1_{\min}}=990$ мм).

5.4 Параметри об'єкту, що підлягають контролю або вимірюванню

Під час процесу управління вимірюванню та контролю підлягають:

- тиск розрядження;
- тиск подачі палива;
- тиск повітря;
- рівень води в котлі;
- витрати води.

5.5 Управляючі діяння та місце їх прикладання

Положення регулюючих органів на відповідних технологічних установках (виконавчих механізмів) регулюється регуляторами системи за пропорційно-інтегрально-диференціальним законом.

5.6 Дії оператора у разі виникнення аварійних ситуацій

У разі виникнення однієї з таких аварійних ситуацій:

- поточні значення тиску P_1 , P_2 , P_3 виходять за межі вимірювань;
- значення вимірюваного рівня L_1 води в котлі виходить за допустимі межі ;

- спостерігається спад тиску на первинних вимірювальних приладах, передбачені наступні дії оператора:
- огляд журналу реєстрації тривог для визначення місця аварії;
- зміна інтегральних та диференціальних коефіцієнтів законів регулювання відповідних регуляторів.

5.7. Вимоги до графічного інтерфейсу оператора

АРМ оператора-технолога розміщений в опалювальному приміщенні на відстані 250м від котельної установки. Лінія послідовної передачі реалізована з урахуванням інтерфейсу RS-485, що дозволяє передавати повідомлення на відстань до 1200 м на 32 приймача. Лінія передачі реалізована у вигляді виті пари, що захищена від загальнопромислових завад. Технічний процес візуалізований за допомогою головної екранної форми, на якій розташовані органи управління та індикації. Використовуються додаткові форми для більш зручного сприйняття інформації про параметри, що контролюються.

5.8. Вимоги до форм звітності

Основними формами звітності є журнал аварійних ситуацій, а також узагальнений звіт про тиск води, розрідження, витрати палива та повітря, а також про рівень води у котлі, що спостерігались на протязі робочої зміни.

6 Стадії розробки

6.1. Розділ «Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту» та розробка концепції функціональної структури ІСА мають бути виконані до 26.04.25 р.

6.2. Розробка електричної структурної схеми АСУТП має бути виконана до 10.05.25 р.

6.3. Розробка функціональної схеми автоматизації АСУТП має бути виконана до 24.05.25 р.

6.4. Проєктування програмного забезпечення АСУТП повинно бути виконано до 31.05.25 р.

7 Порядок контролю та приймання

7.1 Рубіжний контроль – 03-07.06.25 р.

7.2 Попередній захист – 10-15.06.25 р.

7.3 Захист БКР – в період з 16.06.25 по 23.06.25 р. за графіком, встановленим кафедрою АІТ.

Додаток Б
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

**ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВОЇ
КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ**

Розробив:

_____ Максим БАРЛАДІН
“ ” _____ 2025 р.

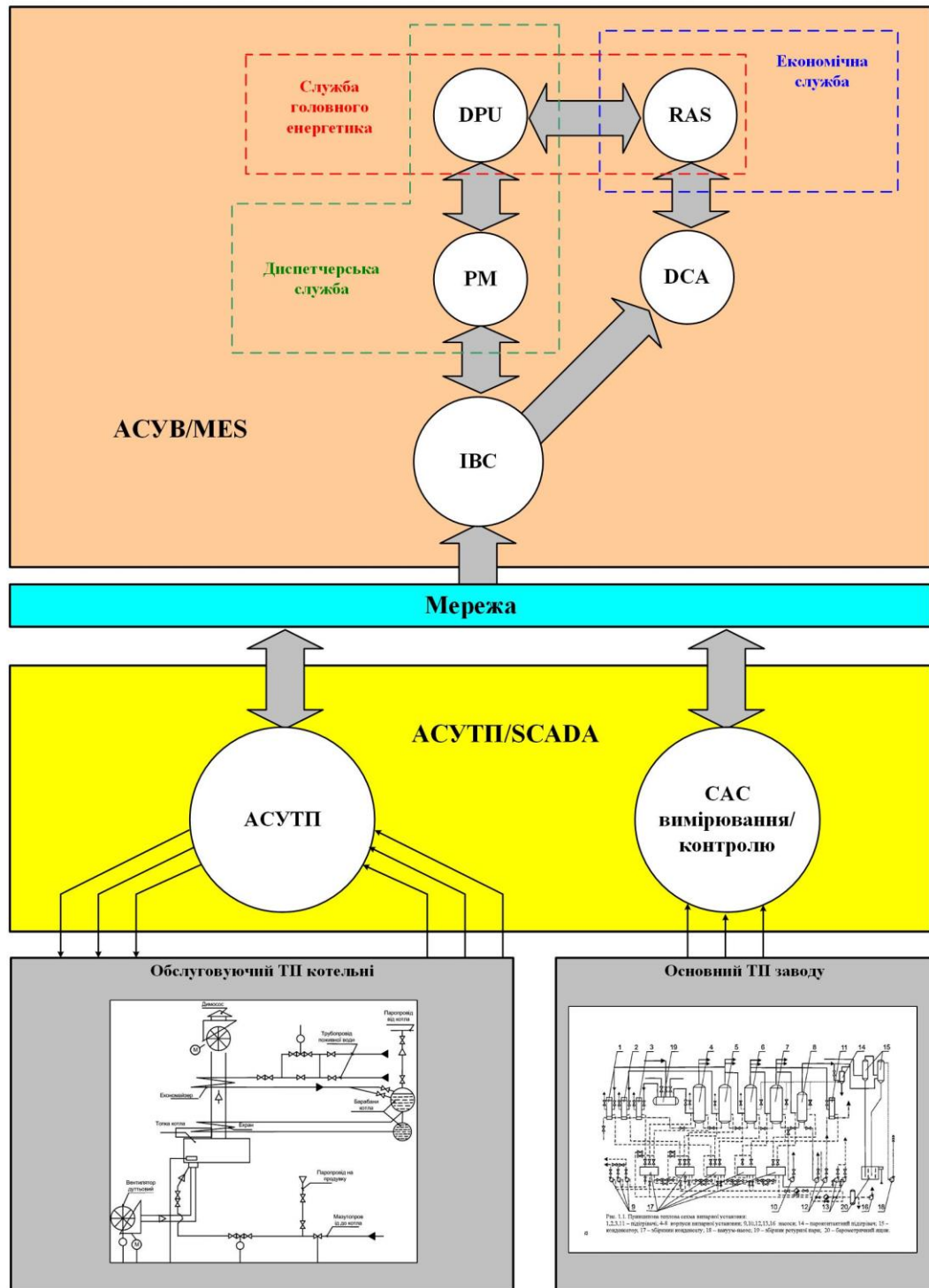
Перевірив:

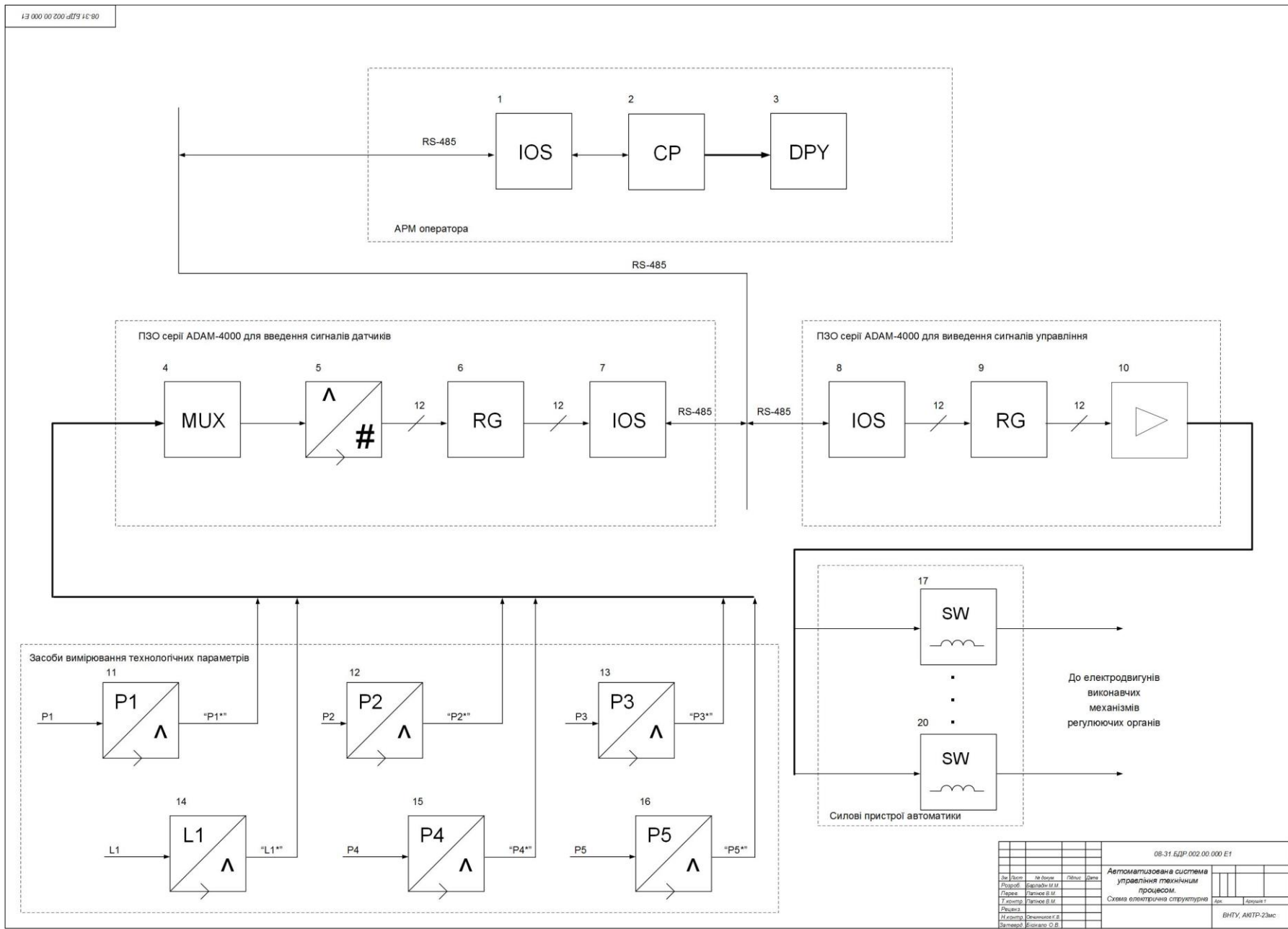
_____ Володимир ПАПІНОВ
“ ” _____ 2025 р.

Рецензент: _____

“ ” _____ 2025 р.

КОНЦЕПЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ





ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Інтегрована система автоматизації промислової котельної установки

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота (у формі проєкту)
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ФІІТА ВНТУ

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism 13,95 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

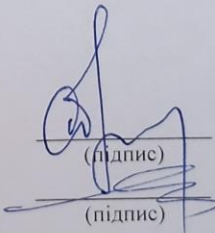
☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

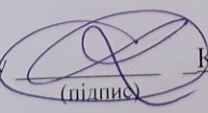
☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

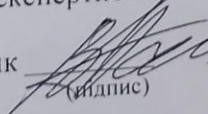
Олег БІСІКАЛО, зав. кафедри АІТ
(прізвище, ініціали, посада)

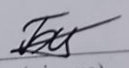
Любов ЯНЧУК, секретар кафедри АІТ
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку  Костянтин ОВЧИННИКОВ
(підпис) (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник  Володимир ПАПІНОВ, проф. кафедри АІТ
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Здобувач  Максим БАРЛАДІН
(підпис) (прізвище, ініціали)