

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

Киричук Юрій Володимирович

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані  
технології проектування приладів»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»**

**на тему: «Автоматизована система керування паровим котлом»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ПМ-91

Сисоєв Максим Євгенович \_\_\_\_\_

Керівник:

Доцент, к.т.н.

Писарець Анна Валеріївна \_\_\_\_\_

Рецензент:

Доцент, к.т.н.

Козир Олег Васильович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проєкті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2023 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП 9121.1760.000 ПЗ	Пояснювальна записка	54	
3	A1	ДП 9121.1760.001 СхФ	Функціональна схема	1	
4	A1	ДП 9121.1760.002 СхА	Алгоритм керування	1	
5	A1	ДП 9121.1760.003 СК	Складальне креслення	1	

				<b>ДП.ПМ-91.21.1760.000</b>		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Сисоєв. М.Є				Лист 1	Листів 1
Керівн.	Писарець А.В					
Консульт.						
Н/контр.						
Зав.каф.	Киричук Ю.В.			<b>Відомість дипломного проєкту</b>	КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПМ-91	

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту  
на тему: «Автоматизована система керування паровим  
КОТЛОМ»**

Київ – 2023 року

## РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт містить: 57 сторінки, 18 рисунки, 18 таблиць, 32 використаних джерела, 3 додатки.

Об'єктом автоматизації є паровий котел.

Ціль роботи – розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом парового котла з використанням програмного логічного контролера (ПЛК) і вибраного людино-машинного інтерфейсу.

В процесі виконання дипломного проєкту будуть розроблені: функціональна схема автоматизації, алгоритм керування, перелік обладнання, перелік вхідних/вихідних сигналів.

Завдяки розробленій автоматизованій системі планується зменшити число аварій, збільшити потужність, підвищити точність і надійність вимірів параметрів печі підігріву сирої нафти.

Ефективність розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом парового котла полягає в зниженні можливих помилкових дій обслуговуючого персоналу і отриманні надійної системи.

Дипломний проєкт виконано за допомогою текстового редактора Microsoft Word, Microsoft Visio, САПР AutoCad 2013, математичного пакета MathCad.

Ключові слова: автоматизована система керування, паровий котел, бак барабану парового котла, програмний логічний контролер, датчики, scada, екранні форми.

## ABSTRACT

The diploma project contains: 57 pages, 18 figures, 18 tables, 32 used sources, 3 appendices.

The object of automation is a steam boiler.

The aim of the work is to develop an automated system for controlling the technological process of a steam boiler using a software logic controller (PLC) and a selected human-machine interface.

In the course of the diploma project, the following will be developed: a functional automation scheme, a control algorithm, a list of equipment, a list of input/output signals.

Thanks to the developed automated system, it is planned to reduce the number of accidents, increase capacity, and increase the accuracy and reliability of measurements of the parameters of the crude oil heating furnace.

The effectiveness of the developed automated system for controlling the technological process of a steam boiler consists in reducing possible erroneous actions of service personnel and obtaining a reliable system.

The diploma project was done using the text editor Microsoft Word, Microsoft Visio, CAD AutoCad 2013, mathematical package MathCad.

Keywords: automated control system, steam boiler, steam boiler drum tank, software logic controller, sensors, scada, screen forms.

## ЗМІСТ

Вступ.....	9
1. Опис і характеристики об'єкта автоматизації.....	10
1.1 Вимоги до системи.....	11
Висновок до розділу 1.....	14
2. Розробка проєкту і підбір обладнання.....	15
2.1 Опис технологічного процесу.....	15
2.2 Розробка структурної схеми АС.....	16
2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації.....	19
2.4 Схема інформаційних потоків.....	19
Висновок до розділу 2.....	20
3. Комплекси технічних засобів автоматизації.....	21
3.1 Програмований логічний контролер.....	21
3.2 Обладнання передачі інформації.....	24
3.3 Датчик рівня.....	26
3.4 Датчик температури.....	27
3.5 Датчик тиску.....	28
3.6 Датчик витрати.....	30
3.7 Датчик контролю полум'я.....	32
3.8 Виконавчі механізми.....	34
Висновок до розділу 3.....	36
4 Розробка алгоритмів керування.....	37
4.1 Алгоритм автоматичного керування технологічним параметром....	37
4.2 Алгоритм програми.....	43
4.3 Програмне забезпечення контролера.....	44
4.4 Екранні форми для панелі оператора.....	48
Висновок до розділу 4.....	50
Список використаних джерел.....	51
Додаток А Функціональна схема автоматизації	

**Додаток Б Алгоритм керування паровим котлом**

**Додаток В Складальний кресленик форсунки**

## ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

При виконанні даної роботи були використані перелічені нижче позначення і скорочення:

OSI (Open Systems Interconnection) – еталонна модель взаємодії відкритих інформаційних систем;

HMI (Human Machine Interface) – людино-машинний інтерфейс;

OSE/RM (Open System Environment Reference Model) – базова модель середовища відкритих систем;

API (Application Program Interface) – інтерфейс прикладних програм;

EEI (External Environment Interface) – інтерфейс зовнішнього оточення;

OPC (Object Protocol Control) – OLE для керування процесами;

OLE (Object Linking and Embedding) – протокол, що визначає взаємовідношення об'єктів різних прикладних програм при їх компановці в єдиний об'єкт/документ;

SNMP (Simple Network Management Protocol) – протокол керування мережами зв'язку на основі архітектури TCP/IP;

ODBC (Open DataBase Connectivity) – програмний інтерфейс доступу до баз даних (відкритий зв'язок з базами даних);

ANSI/ISA – American National Standards Institute/Instrument Society of America) – американський національний інститут стандартів / Американське суспільство приладобудівників;

IP (International Protection) – ступінь захисту;

LAD (Ladder Diagram) – мова релейної (сходиноквої) логіки;

АСК ТП – автоматизована система керування технологічним процесом;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

ПЗ – програмне забезпечення.



## ВСТУП

Автоматизована система керування паровим котлом призначена для контролю стану технологічного ланцюжка пароводяного тракту.

Автоматизація дає можливість підвищити продуктивність праці, оптимізувати процеси керування установкою, покращити якість продукції, а також зменшити участь людини в процесах, небезпечних для здоров'я. Автоматизація, за винятком самих простих випадків, вимагає комплексного, системного підходу до рішення поставленої задачі.

Метою даного дипломного проєкту є автоматизація системи керування паровим котлом продуктивністю 25 тон на годину перегрітої пари з температурою 440 °С на базі програмуючого логічного контролера серії Simatic S7-300.

Автоматизована система виконує наступні функції:

- А) безперервний контроль та керування паровим котлом;
- Б) безперервне функціонування комплексної системи технологічного об'єкта;
- В) передача інформації та сигналізації в операторну;
- Г) включення звукових оповіщувачів;
- Д) керування виконавчими механізмами та насосами подачі води в барабан котла оснащеними перетворювачами частоти;
- Е) електронне архівування повідомлень системи;
- Є) архівування графіків кожного процесу;
- Ж) відображення всього процесу на панелі оператора.

## 1 ОПИС І ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Об'єктом автоматизації є котел паровий марки БЕМ-25 /4,0-440ГМ.

Основними характеристиками даного парового котла є:

- А) виробництво 25 тон перегрітої пари на годину;
- Б) тиск пари на виході з котла до 4,0 МПа;
- В) максимальна температура перегрітої пари 440 °С;
- Г) температура поживної води 105 °С;
- Д) паливо, що використовується – газ;
- Ж) ККД до 94 %.

Об'єкти автоматизованої системи:

- Датчики температури води, пари, повітря, газу (4-20) мА;
- Датчики тиску пари, води, повітря, газу та виділення (4-20) мА;
- Датчики рівня води (4-20) мА;
- Датчики витрати води, конденсату, газу та пари (4-20) мА;
- Клапану соленоїди системи подачі газу;
- Електропривідні засувки подачі води, газу, пари, повітря та скидання конденсату.

На лицевій частині шафи керування необхідно передбачити сигналізацію:

- Фотодатчика інфрачервоного випромінювання (датчик горіння) при погасанні факела.

На панелі оператора потрібно передбачити візуальну і звукову сигналізацію:

- Мінімального і максимального рівнів води у барабані котла;
- Понижений та підвищений тиск газу на пальник;
- Відключення димососа та дуттєвого вентилятора;
- Підвищення тиску пари в барабані котла;
- Пониження тиску повітря перед пальником;
- Недостатня розрядка в топці котла;

- Низький і високий тиск поживної води.

Дана система автоматизації (АСК) парового котла призначена для:

- Автоматизації дій, пов'язаних з вимірюванням, передачею, моніторингом і обробкою інформації, необхідної для ефективного і безпечного керування технологічним обладнанням і процесом пароводяного котла;
- Збільшення продуктивності перегрітої пари на виробництво автономної електроенергії (турбогенератора) і цукру;
- Представлення оператору достовірної інформації про хід технологічних процесів і стану обладнання парового котла, необхідної для прийняття своєчасних рішень по керуванню;
- Передбачення розвитку небезпечних ситуацій з паровим котлом в цілому, здатним нанести шкоду персоналу, навколишньому середовищу і обладнанню.

## **1.1 ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ**

Технічне забезпечення. Для функціоналу роботи обладнання, встановленого на паровому котлі необхідно проектування шафи керування засувками (ШУЗ).

Проектування даної шафи керування передбачає комплектність всередині шафового наповнення обладнанням. Підключення всіх сигналів повинно передбачати через прохідні встановлювальні клеми. А також необхідно передбачити резервні клеми для сигналів резервних каналів модулів введення/виведення. Наявність резервних клем і каналів пояснюється тим, що при імпульсних перешкодах, перенапружень або фізичного впливу можна було з мінімальною кількістю часу простою обладнання перепідключити з виведених з ладу клем або каналів на резервні.

Програмне забезпечення. Розширення програмного забезпечення (ПЗ) передбачено на базі існуючого. Задачею ПЗ є виконання функціоналу збору,

обробки, передачі, а також алгоритм керування. Дане ПЗ повинно передбачати:

- Регламентування по паролях доступу до інформаційних масивів;
- Не повинно містити програмних кодів, закритих від виміру в програмі;
- Захист інформації від несанкціонованого доступу;
- Регламентування по паролях доступу до інженерного ПЗ.

Прикладне ПЗ повинно:

- Бути відкритим для майбутньої модернізації;
- Мати лістинг програми;
- Супроводжуватись описом на українській мові.

Експлуатація на систему автоматики повинна відповідати стандартам і утримувати відомості, необхідні персоналу для використання програмного забезпечення.

Для перевірки кожного з алгоритмів запуску парового котла на верхньому рівні, повинна бути передбачена можливість керування кожного процесу часу. Також кожний зроблений параметр повинен архівувати процес у графічному вигляді для аналізу та виявлення дефектів обладнання з контрольно-вимірювальних приладів.

При наявності попереджувальних та аварійних уставок, їх порівняння повинно вестись з заміщеним значенням. При досягненні заміщених значень система повинна спрацювати по відповідному алгоритму керування та зробити захист.

Метрологічне забезпечення. Нормованими метрологічними характеристиками засобів вимірювання та вимірювальних каналів є основна і додаткова похибки.

Межі основної абсолютної похибки для системи виміру не повинні перевищувати значень:

- Датчики рівня в барабані котла  $\pm 10$  мм;
- Датчики температури пари, води, газу, повітря  $\pm 2,0$  °С;

- Датчики тиску пари, води, повітря, газу і розрядження  $\pm 0,5$  %;
- Датчики витрати води, конденсату  $\pm 0,65$  %, а для газу і пари  $\pm 1,0$  %.

Діапазон вимірюваного параметра визначається по його межовим значенням.

Верхнє межове значення вимірюваного параметра приймається рівним аварійному максимальному значенню, а за його відсутності - максимальному значенню, визначеному технологічними вимогами.

Нижнє межове значення для вимірюваних параметрів, що мають можливість приймати від'ємні значення, вибирається з урахуванням забезпечення можливості реєстрації мінімального можливого за характеристиками технологічного обладнання або кліматичними умовами від'ємного значення даного параметра.

Результуюча погрішність вимірювального каналу не повинна перевищувати 15 % від похибки вхідного в даний вимірювальний канал первинного перетворювача.

Засоби виміру, що складають вимірювальні канали комплексу повинні бути первинно перевірені і калібровані.

Математичне забезпечення. Алгоритми керування виконавчими механізмами повинні представляти собою послідовність дій для дистанційного керування виконавчими механізмами з ціллю підтримки на необхідному рівні параметрів технологічного процесу.

Аварійна ситуація повинна бути визначена при досягненні параметрів аварійної межі. Після виявлення аварійної ситуації повинна бути передбачена тимчасова затримка перед спрацюванням системи протиаварійного захисту.

Передаварійна ситуація повинна бути визначена при досягненні параметра технологічної межі. Після виявлення передаварійної ситуації, система повинна зреагувати на передачу повідомлення тільки оператору без автоматичного керування виконавчими механізмами.

Всі типові задачі, пов'язані зі збором, передачею і зберіганням інформації повинні бути реалізовані в програмованому логічному контролері (ПЛК) на мовах програмування, відповідних вимогам стандарту ІЕС 61131-3 [1].

## **ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1**

В даному розділі наведено опис об'єкту автоматизації та його призначення. Розглянуто вимоги до системи автоматизації, які включають: надійність, швидкість реакції, точність та зручність у використанні.

## 2 РОЗРОБКА ПРОЄКТУ І ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ

### 2.1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Паровий котел БЕМ-25/4,0-440Г – призначений для виробництва перегрітої пари температурою до 440 °С і тиском до 4,0 МПа, побудований на принципі нагрівання води в трубах топки котла за допомогою газу. Далі пара подається в загальний колектор, де розподіляється на турбогенератор і виробництво [2].

Даний котел водотрубний, з природною циркуляцією води та розрахований на роботу під розрідженням.

Котел має два барабани – верхній і нижній, топку і газохід, а також пароперегрівач. Над пароперегрівачем є газохід з регулюючим шиббером, що дозволяє регулювати температуру пари, пропускаючи частину газів повз пароперегрівач. Економайзер з'єднаний з коробом газів, що йдуть з котла, через нього проходить лінія води живлення, оскільки температура газів висока, відповідно відбувається догрівання води живлення. Продукти згорання із топки проходять в конвективний газохід.

Вода живлення, що перекачується з деаератора в трубну систему котла поживними насосами під тиском 4,0 МПа, потрапляє в водяний економайзер. Із водяного економайзера – у верхній барабан, де вона змішується з котловою водою чистого відсіку, а звідти по опускним трубах в нижній барабан. Із нижнього барабана по трубах котельних пучків пароводяна суміш потрапляє в чистий відсік верхнього барабану, де відбувається сепарація пари. При цьому частина котлової води по горизонтальній перепускній трубі подається у водяний об'єм сольового відсіку, а звідти – по опускній трубі в сольовий відсік нижнього барабану.

Насичена пара із верхнього барабану по трубах діаметром 80 потрапляє в горизонтальний збірний колектор, із якого пара потрапляє в змішувачи

пароперегрівача. Пройшовши по змійовиках пароперегрівача, пара потрапляє у вихідний колектор перегрітої пари, а із нього – користувачу.

Також паровий котел комплектується газовим прямоточно-вихровим пальником типу ГМПВ-20 [3]. Конструктивно пальник складається з повітрянапрямної частини газорозділювального пристрою і самого газорозділювального пристрою. На пальнику передбачена установка фотодатчика, запального пристрою і форсунки.

Призначення водяного економайзера на паровому котлі полягає в нагріві води живлення до надходження її в барабан парового котла.

На даному паровому котлі повинні бути встановлені виконавчі механізми, запірні та регулюючі для подачі води живлення з функцією байпаса, також виконавчі механізми для подачі повітря в топку котла і газів, що йдуть з топки. Для подачі газу передбачені дві лінії трубопроводу з запірною і регулюючою арматурою на пальник і запальник. На трубопроводі пари після пароперегрівача встановлені також виконавчі механізми з байпасом для регулювання тиску пари на виході котла.

Передбачена і скидна частина на паровому котлі для аварійних, тестових режимів, тобто відводи для скиду пари і газу на лініях подачі.

## **2.2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АС**

В барабані парового котла здійснюється замір рівня води, температури, тиску і рівня розділу фаз. Основними виконавчими пристроями є засувки з електроприводом, а також частотні перетворювачі для вентилятора і димососу. На підставі вищевказаних даних будуємо трирівнему структуру автоматизованої системи (рисунок 2.1).

Специфіка кожної конкретної системи керування визначається використовуваною на кожному рівні програмно-апаратною платформою.

Нижній рівень системи складають датчики, пристрої виміру технологічних параметрів, приводи і виконавчі пристрої, встановлені на



технологічному обладнанні і призначені для збору первинної інформації і реалізації впливів, що виконуються. Цей рівень називають рівнем введення-виведення (I/O) або польовим (Field) рівнем. Пристрої польового рівня можуть бути інтелектуальними, в цьому випадку обмін інформацією з ними може здійснюватися безпосередньо мережею передачі даних.

Наступний рівень системи – програмовані контролери. Вони виконують функцію безпосереднього автоматичного керування технологічними процесами. Керування виконавчими механізмами здійснюється по певних алгоритмах шляхом обробки даних про стан технологічних параметрів, отриманих за допомогою вимірювальних приладів. Цей рівень отримав найменування рівня безпосереднього керування (Control).

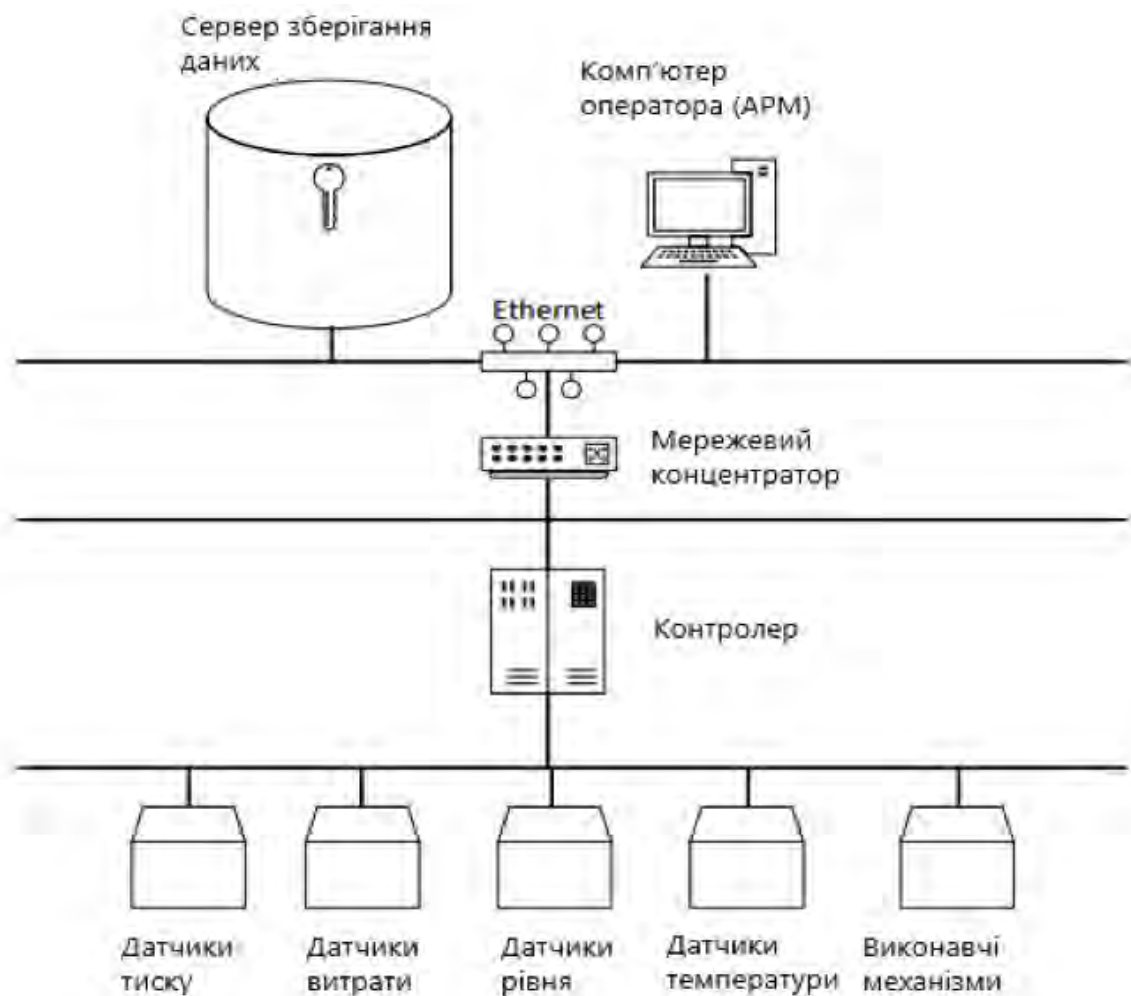


Рисунок 2.1 – Трирівнева структура АС

Сервери технологічних даних і автоматизовані робочі місця (АРМ) операторів технологічного обладнання утворюють так звану SCADA-систему, верхній рівень автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСК ТП).

Сервери забезпечують роботу SCADA-системи, підтримуючи протокол обміну даними з технологічними пристроями (контролерами, інтелектуальними датчиками і виконавчими механізмами) і протокол роботи з мережею персональних комп'ютерів. Основними функціями SCADA-систем є:

- Збір, первинна обробка і накопичення інформації про параметри технологічного процесу і стан обладнання від промислових контролерів та інших цифрових пристроїв, безпосередньо пов'язаних з технологічною апаратурою;
- Відображення інформації про поточні параметри технологічного процесу на екранах АРМ операторів і технічного персоналу у вигляді графічних мнемосхем;
- Відображення графіків поточних значень технологічних параметрів в реальному часі за заданий інтервал;
- Операторське керування технологічним процесом;
- Виявлення критичних (аварійних) ситуацій;
- Вивід на екрани АРМ операторів технологічних і аварійних повідомлень;
- Архівування історії виміру параметрів технологічного процесу;
- Надання даних про параметри технологічного процесу для їх використання в системах керування підприємством.

Відповідно до сучасної ідеології основні задачі керування розв'язуються на нижніх рівнях системи, що дозволяє підвищити швидкодію системи і розвантажити обчислювальну мережу від передачі зайвої інформації. На верхні рівні керування покладаються тільки ті задачі, для виконання яких обчислювальні засоби нижніх рівнів не пристосовані,

наприклад, відображення поточного стану автоматизованого виробництва, робота з великими базами даних (БД), документальний супровід діяльності підприємства і т.д.

## **2.3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

Функціональна схема автоматизації – це технічний документ, в якому визначена функціонально-блочна структура оснащення об'єкта керування (ОК) апаратно-технічними засобами автоматизації.

При розробці функціональної схеми автоматизації технологічного процесу були вирішені наступні задачі:

- отримання первинної інформації про стан технологічного процесу і апаратно-технічних засобів;
- керування технологічним процесом і стабілізації технологічних параметрів;
- реєстрації технологічних параметрів процесів.

Функціональна схема автоматизації виконана згідно вимог (додаток А) [4].

## **2.4 СХЕМА ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ**

Вона включає в себе три рівня збору і зберігання інформації:

- Нижній рівень (рівень збору і обробки);
- Середній рівень (рівень поточного зберігання);
- Верхній рівень (рівень архівного і КІС зберігання)

На нижньому рівні представляються дані аналогових сигналів і дискретних сигналів пристроїв введення/виведення, а також дані про обчислення і перетворення.

Середній рівень представляє собою буферну базу даних, яка є одночасно приймачем і джерелом даних від зовнішніх систем. На цьому рівні

ПЛК формує пакетні потоки інформації із даних, зібраних на нижньому рівні. Верхній рівень представляє собою бази даних корпоративної інформаційної системи (КІС) і АСК ТП. Інформація для операторів автоматизованого робочого місця (АРМ) структурується наборами екранних форм. На моніторі АРМ оператора відображаються різні інформаційні і керуючі елементи.

Параметри, які передаються в локальну обчислювальну мережу у форматі стандарту OPC, містять в собі:

- Рівень в барабані котла, мм;
- Рівень розділу фаз, мм;
- Тиск газу перед пальником, кПа;
- Температуру пари, води, газу в трубопроводах, °С;
- Тиск пари, води, МПа;
- Витрата води, пари, м<sup>3</sup>/год.

Кожний елемент контролю і керування має свій ідентифікатор (ТЕГ), який складається із символного рядка.

## **ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2**

В розділі проведено аналіз технологічного процесу; розроблено функціональну схему автоматизації. В описі технологічного процесу розглянуті кроки, етапи або послідовність дій, які відбуваються в об'єкті автоматизації. Опис включає інформацію про вхідні та вихідні параметри, діапазони роботи, основні взаємозв'язки між елементами системи тощо.

### **3 КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ**

Комплекс технічних засобів АСК парового котла включає в себе вимірювальні прилади, виконавчі механізми, контролерне обладнання, комутаційну апаратуру, а також системи сигналізації і допоміжне обладнання.

Вимірювальні прилади здійснюють збір інформації про технологічний процес. Виконавчі пристрої перетворюють електричну енергію в механічну або іншу фізичну величину для здійснення впливу на об'єкт керування відповідно до вибраних алгоритмів. Контролерне обладнання обробляє сигнали з датчиків, здійснює алгоритми локального керування і аварійних захистів, видає сигнали керування виконавчим механізмам. За допомогою комутаційної апаратури здійснюється зв'язок і передача даних між технічними засобами середнього і верхнього рівнів. Панелі оператора використовуються як допоміжне обладнання для моніторингу і керування технологічним процесом. Для надійної і безперебійної роботи обладнання використовується джерело безперебійного живлення (ДБЖ). Комплекс технічних засобів має вибухозахищене виконання типу «вибухонепроникна оболонка», або «іскробезпечний електричний ланцюг».

#### **3.1 ПРОГРАМОВАНИЙ ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР**

В якості ПЛК нашої системи обрано контролер фірми Siemens Simatic S7-300 [5].

Програмований логічний контролер Simatic S7-300 – призначений для побудови систем автоматизації низької і середньої складності (рисунок 3.1). Модульна конструкція контролера S7-300, робота із вільним охолодженням, можливість використання локальних і розподілених структур введення-виведення, широкі комунікаційні можливості, багато функцій, які підтримуються на рівні операційної системи, висока простота використання і

обслуговування забезпечують можливість отримання оптимальних рішень для побудови систем автоматичного керування технологічними процесами в різних областях промислового підприємства.



Рисунок 3.1 – Програмований логічний контролер S7-315 2PN/DP [6]

Основними перевагами контролерів серії S7-300 є:

- Наявність широкого різноманіття модулів центрального процесора і модулів розширення дозволяє максимально ефективно побудувати автоматизовану систему керування на базі S7-300 під потреби конкретного технологічного процесу;
- Швидке і легке розширення АСК ТП завдяки використанню розподілених структур введення-виведення і простому включенню додаткових контролерів в існуючу мережу;
- Через низьке тепловиведення не потрібно додаткове охолодження типу вентиляторів;
- Завдяки наявності великої кількості вбудованих функцій і зовнішніх бібліотек, що підключаються, ПЛК S7-300 має велику

функціональну потужність і може використовуватися для великої кількості як стандартних, так і спеціалізованих задач (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики контролерів

Виробник, модель	Siemens Simatic S7-315 2PN/DP	Schnider Electric Modicon M251 [7]	Allen-Bradley ControlLogix 5560 [8]
Зовнішня напруга центрального процесора, В	24	24	24т
Номінальний споживаний струм, мА	750	1000	800
Діапазон робочих температур, °С	(- 25–60)	(- 10-30)	(- 20-60)
Інтерфейси зв'язку	MPI, Profinet, Profibus DP	Ethernet/IP	RS232/RS485/Ethernet
Робоча пам'ять	384 Кбайт	64 Мбайт	64 Мбайт
Електронезалежна область пам'яті для збереження блоків даних	128 Кбайт	8 Мбайт	128 Мбайт
Кількість модулів у корзині	8	7	7
Підтримка функцій ПІД регулювання	Так	Так	Так
Додаткова пам'ять	До 8 Мбайт	До 64 Мбайт	До 128 Мбайт
Мови програмування	LAD, FBD, STL, SCL, CFC, GRAPH	IL, ST, FBD, SFC, LD	LD, FBD, STL, SCL, CFC
Час напрацювання на відмову	100 000 годин	100 000 годин	80 000 годин

### 3.2 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

В якості промислового мережевого комутатора для передачі інформації між контролерним обладнанням і панелі оператора, а також АРМ вибраний Siemens Scalance X005 [9]. Дана модель не керована, надійна і підходить для даної передачі інформації (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Промисловий комутатор Scalance X005

Перевагами даного комутатора є:

- Оптимізація для побудови невеликих мереж Ethernet зі швидкостями 10/100 Мегабіт/секунду з лінійною або зіркоподібною структурою;
- Наявність п'яти електричних вузлів або підключень;
- Міцний металевий корпус для монтажу в шафу на стандартну рейку, S7-300 DIN рейку або для монтажу на стінку;
- Міцне з'єднання промислового стандарту зі станціями за допомогою Profinet роз'ємів, що дає додаткове механічне посилення з'єднання;



- Можливість діагностики пристрою за допомогою світлодіодів (живлення, статус, з'єднання, передача даних) (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Характеристики промислових комутаторів.

Виробник, серія	Scalance X005	EDS-2005 EL [10]	DIS-100E-5W [11]
Зовнішня напруга живлення, В	24	24	24
Номінальний споживаний струм, А	0,08	0,045	0,2
Діапазон робочих температур, °С	(0-65)	(- 10-65)	(- 40-65)
Швидкість передачі інформації	10 Мбіт/100 Мбіт	10 Мбіт/100 Мбіт	100 Мбіт/100 Мбіт
Кількість портів RJ45	5	5	5
Ступінь захисту	IP30	IP40	IP30
Час напрацювання на відмову	1 460 000 годин	4 800 000 годин	219 000 годин

### 3.3 ДАТЧИК РІВНЯ

Датчик рівня обираємо з наступних варіантів: Метран 150CD, Deltabar S PMD75, SiemensSITRANS P DS III (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Основні характеристики датчиків рівня за перепадом тиску

Тип, модель	Метран 150 [12]	Deltabar S PMD75 [13]	SITRANS P DS III [14]
Вимірювані середовища	Рідина, пара, нафта і нафтопродукти	Рідина, нафта і нафтопродукти	Рідина, нафта і нафтопродукти
Тиск середовища, кПа	0,63	0,63	0,63
Температура навколишнього середовища, °С	(мінус 20-75)	(мінус 40-75)	(мінус 40-75)
Робоча температура, °С	(мінус 40-150)	(мінус 40-120)	(мінус 40-120)
Ступінь захисту	IP67	IP66	IP68
Вихідні сигнали, мА	(4-20)	(4-20)	(4-20)/HART

В результаті аналізу обрано датчик рівня Метран 150CD (рисунок 3.3). У нього є перетворювач, всередині якого знаходиться вимірювальний блок і плата перетворювача. Після надходження тиску в камеру вимірювального блоку отримане значення перетворюється за рахунок деформації чутливого елемента і зміни електричного сигналу.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд датчика рівня Метран 150

### 3.4 ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ

Датчик температури підбирається для виміру температури води живлення до економайзера, вибираємо з: Метран-266, Jumo90.2044, Modul LineTM101 (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Характеристики датчиків температури

Виробник, тип	Метран-226 [15]	Jumo90.2044 [16]	Modul LineTM101 [17]
Вимірювані середовища	Рідина, нафтопродукти	Рідина, нафтопродукти	Рідина, нафтопродукти
Температура навколишнього середовища, °C	(- 5 – 60)	(- 40 – 60)	(- 45 – 60)
Температура вимірюваного середовища, °C	(- 30 – 200)	(- 50 – 200)	(- 50 – 200)
Приведена похибка вимірювань $\pm$ , %	0,25	0,225	0,50
Вихідні сигнали, RT100, mA	По опору	(4 – 20)	(4 – 20)

Найбільш відповідним варіантом виявився датчик температури Метран-226 (рисунок 3.4). Принцип роботи заснований на явищі зміни електричного опору металів при вимірюванні їх температури. Величина зміни електричного опору визначається типом матеріалу чутливого елемента і величиною зміни температури. Вимірювальним вузлом ТС є плівковий чутливий елемент (ЧЕ), що представляє собою платинову плівку, нанесену методом напилення на ситалову підкладку. ЧЕ поміщений в захисну арматуру, матеріал якої і розміри вибрані стійкими до впливу середовища, температура якої вимірюється. Чутливий елемент (ЧЕ) за допомогою сполучних проводів по 2-х, 3-х або 4-х провідній схемат підключається до армованих контактів сполучної голівки або виведений сполучним кабелем для подальшої комутації в системах автоматизації.



Рисунок 3.4 – Датчик температури Метран-226

### **3.5 ДАТЧИК ТИСКУ**

Датчик тиску обираємо з: Метран-75, Jumo DelosSI, Trafag DPC 8380 (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Основні характеристики датчиків тиску

Виробник, тип	Метран-75 [18]	Jumo DelosSI [19]	Trafag DPC 8380 [20]
Вимірювані середовища	Повітря, пара, різні рідини	Рідини, нафтопродукти, пара, газ, газові суміші	Рідини, нафтопродукти, пара, газ, газові суміші
Температура навколишнього середовища, °С	(- 40 ÷ 85)	(- 40 ÷ 85)	(- 40 ÷ 75)
Температура вимірюваного середовища, °С	(- 40 ÷ 100)	(- 40 ÷ 100)	(- 40 ÷ 100)
Основна похибка вимірювань $\pm$ , %	0,5	0,5	0,5
Діапазон вимірюваних тисків	(0,00063 ÷ 6,0) Мпа	Мін. (0 ÷ 0,025) кПа; - макс. (0 ÷ 100) Мпа	Мін. (0 ÷ 0,04) кПа – макс. (0 ÷ 100) Мпа
Вихідні сигнали, мА	(4 ÷ 20)	(4 ÷ 20)	(4 ÷ 20)

Обрано датчик Метран-75 (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Датчик тиску Метран-75

Інтелектуальні датчики тиску серії Метран-75 призначені для безперервного перетворення в уніфікований вихідний струм або цифровий сигнал за протоколом HART вхідних вимірюваних величин. Датчик складається із сенсорного модуля і електронного перетворювача. Модуль датчика складається із вимірювального блоку і плати аналого-цифрового перетворювача. Тиск, який подається в камеру вимірювального блоку, перетворюється в деформацію чутливого елемента і зміну електричного сигналу. Електронний перетворювач перетворює електричний сигнал у відповідний вихідний сигнал.

### **3.6 ДАТЧИК ВИТРАТИ**

Датчик витрати обираємо з: вихровий витратомір Jumo dTransp02 Delta, Метран-300ПР і Krohne OPTISONIC 3400 C (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 – Основні характеристики витратомірів

Виробник, тип	Jumo dTransp02 Delta [21]	Метран- 300ПР [22]	KrohneOPTISONIC34 00C [23]
Вимірювані середовища	Рідина, пара, газ	рідина	Рідина, нафта, газ
Тип пристрою	вихровий	вихровий	Вихровий
Абсолютна похибка вимірів $\pm$ , %	Для рідини (0,5); для пари і газу (1,0)	(1,0)	(1,0)
Вимірювана об'ємна витрата, м <sup>3</sup> /год	(0 – 2000)	(0,18 – 2000)	(0 – 2000)
Робоча температура, °C	(мінус 40 – 85)	(мінус 10 – 150)	(Мінус 45 – 140)
Вихідні сигнали, мА	(4 – 20)	(4 – 20)/HART	58 200,00

Обрано витратомір Метран-300ПР, оскільки він підходить для рідин, а також має діапазон виміру витрати з погрішністю від  $\pm 1$  % в залежності від швидкості потоку (рисунок 3.6).

Витратоміри Метран 300ПР призначені для застосування в системах комерційного обліку теплової енергії, гарячого і холодного водопостачання, а також для технологічних вимірів витрати води і водних розчинів в різних галузях промисловості, в тому числі у складі АСК ТП.



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд витратоміра Метран-300ПР

Надійність і стабільність експлуатації витратоміра Метран 300ПР перевірена часом. А особливості такого витратоміра полягають у:

- Високій метрологічній стабільності навіть при вимірюванні низьких витрат завдяки температурній корекції витратної характеристики перетворювача;
- Ефекті самоочищення проточної частини завдяки унікальній конструкції витратоміра;
- Знімному тілі обтікання, що збільшує ремонтпридатність витратоміра і знижує вартість володіння;
- Стабільності вимірювання витрати води будь якої якості незалежно від наявності сумішей і металевих включень;
- 3-х строковому рідкокристалічному індикаторові.

### **3.7 ДАТЧИК КОНТРОЛЮ ПОЛУМ'Я**

Датчик контролю полум'я обираємо з: фотодатчик полум'я пальника ФД-05ГМ, пристрій контролю полум'я БСТ-ФД-06 (фотодатчик), датчик контролю полум'я СЛ-90-1/24 (таблиця 3.7).



Таблиця 3.7 – Основні характеристики датчиків контролю полум'я

Параметр	ФД-05ГМ [24]	БСТ-ФД-06 [25]	СЛ-90-1/24 [26]
Напруга живлення, В	220	18 – 30	24
Ступінь захисту	IP54	IP50	IP65
Час спрацювання, сек.	2	(0,5 – 10)	2
Температура навколишнього повітря, °С	(0 – 60)	(- 40 – 50)	(- 40 – 80)
Вихідні сигнали	Група контактів реле	10 мА при наявності полум'я; менше 1 мА при відсутності полум'я	Дві групи контактів реле

Обрано датчик контролю полум'я ФД-05ГМ (рисунок 3.7). Цей датчик відноситься до категорії оптичних датчиків полум'я, які використовують фоточутливий елемент для реагування на випромінювання, що виникає під час горіння.



Рисунок 3.7 – Датчик контролю полум'я пальника

Датчик призначений для контролю факела газового пальника. Контроль факела газового пальника проводиться по каналу 1 – індикатору ультрафіолетового випромінювання, по каналу 2 – фотодіоду в спектрі видимого і ближнього інфрачервоного випромінювання. При контролі пилувугільного пальника з мазутним «підсвічуванням» канал 1 контролює наявність пилувугільного факела, канал 2 - наявність факела форсунки. Датчик працює в комплекті з сигналізатором горіння ЛУЧ – 1 АМ [27] в системах захисту котлів.

### **3.8 ВИКАВЧІ МЕХАНІЗМИ**

Електричний виконуючий механізм призначений для приведення у дію запірно-регулюючої трубопровідної арматури в системах автоматичного регулювання технологічними процесами, у відповідності з командними сигналами регулюючих і керуючих пристроїв.

Принцип роботи виконуючих механізмів полягає в перетворенні електричної енергії в обертальне переміщення вихідного валу відповідно до сигналу, що надходить від регулюючого до керуючого пристрою.

У нашому випадку виконавчий механізм підбирається для лінії регулювання подачі води в барабан парового котла. Регулювання подачі води є одним із основних вузлів автоматизації парового котла. Необхідно вибрати електропривід для майбутнього клапана і оцінити інтеграцію в систему автоматизації. А також врахувати завчасно керування для даного типу приводу.

Для підбору обладнання були вибрані декілька виробників запірно-регулюючої арматури, а це: AUMA і BRAY (таблиця 3.8).

Таблиця 3.8 – Основні характеристики електроприводів

Виробник, тип	AUMA SAR 07.2 [28]	BRAY серія 70 [29]
Напруга живлення, В	~ 400	~ 220
Ступінь захисту	IP67	IP65
Блок керування, мА	Аналоговий, (4 – 20)	Аналоговий (4 – 20)
Блок кінцевих вимикачів	Так	Так
Температурний діапазон, °С	(- 60 – 80)	(- 20 – 50)
Ручний маховик	Є	Є

Обрано електропривід AUMA SAR 07.2 компанії AUMA (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд електроприводу AUMA SAR 07.2

Даний електропривід невибагливий в обслуговуванні, надійний і підходить для кліматичних умов навколишнього середовища, має місцеве керування, у випадку відмови дистанційного керування.

### **ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3**

У даному розділі здійснено вибір комплексу технічних засобів реалізації системи керування: програмований логічний контролер (ПЛК); обладнання передачі інформації; датчик рівня; датчик температури; датчик тиску; датчик витрати, датчик контролю полум'я, виконавчі механізми. Для кожного з цих засобів обрано засіб: ПЛК – Simatic S7-300, передача інформації – Siemens Scalance X005, датчик рівня – Метран 150CD, датчик температури – Метран-226, датчик тиску – Метран-75, датчик витрати – Метран-300ПР, датчик контролю полум'я – ФД-05ГМ, виконавчі механізми – AUMA SAR 07.2.

## 4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ

### 4.1 Алгоритм автоматичного керування технологічним параметром

В даному пункті буде описаний алгоритм підтримки заданого рівня, який повинен забезпечити прийнятну степінь регулювання, достатньо малий час виходу на режим, а також невисоку чутливість до різних зовнішніх обурень.

Робота пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регулятора ґрунтується на наступному принципі: вимірюється відхилення величини, яка стабілізується, до заданого значення, виходячи із отриманих результатів відхилення цієї величини видається керуючий сигнал, який є сумою трьох доданків, перший – пропорційний відхиленню цієї величини, другий – пропорційний інтегралу відхилення від заданої величини і третій – пропорційний похідній відхилення від заданої величини.

Відбувається порівняння – завдання по рівню порівнюється з поточним значенням рівня, отриманим за допомогою датчика рівня води (LT1, LT2). За неузгодженості з регульованою величиною регулятор рівня формує і видає завдання по положенню регулюючого органу – клапану. Задане положення порівнюється з поточним, отриманим від датчика положення регулюючого клапана. На основі розбіжності по положенню блок керування формує керуючий сигнал на виконавчий механізм позиціонера (рисунок 4.1).

В якості регульованих параметрів технологічного процесу виступає рівень води в баку барабана котла. Об'єктом керування є контур ділянки між точкою вимірювання рівня і регулюючим органом клапана. Довжина даної ділянки визначається правилами установки датчика і регулюючих органів, яка складає зазвичай декілька метрів. Час проміжного запізнення робить декілька секунд для рідини, постійне значення часу складає декілька секунд.

В якості алгоритму регулювання виберемо алгоритм ПД регулювання, який забезпечує хорошу якість регулювання, достатньо малий час виходу на режим і низьку чутливість до зовнішніх впливів.



Рисунок 4.1 – Модель системи регулювання рівня в баку

Об'єктом керування є бак барабану котла після клапана. Регулюючим органом виступає клапан, що керується електроприводом, який в даній схемі розділений на частотний перетворювач, асинхронний двигун і редуктор.

На панелі оператора встановлюється рівень, який необхідно підтримувати у баку. У ПЛК передається значення з датчика рівня, потім відбувається порівняння значень. Далі формується вихідний струмовий сигнал, який подається на частотний перетворювач, на виході якого формується напруга живлення електроприводу клапана. За допомогою клапана з електроприводом електрична енергія перетворюється в поступальний рух штока. Таким чином, рівень у баку стає рівним заданому тиску.

Лінеаризована модель системи керування описується наступним набором передаточних функцій:

*Передаточна функція частотного перетворювача*

Диференціальне рівняння для частотного перетворювача вирішується так:

$$T_{\text{чп}} \frac{df}{dt} + f = k_{\text{чп}} I_3; \quad (1)$$

де  $T_{\text{чп}}$  – коефіцієнт часу частотного перетворювача;

$f$  – частота мережі;

$k_{\text{чп}}$  – коефіцієнт передачі частотного перетворювача;

$I_3$  – струм завдання.

Частотний перетворювач представляє собою аперіодичну ланку, яка перетворює електричну енергію мережі в електричну енергію для керування клапана.

Далі, для складання передаточної функції частотного перетворювача, необхідно розрахувати коефіцієнт передачі і сталу часу.

Коефіцієнт передачі частотного перетворювача може бути визначений у статичному режимі як відношення частоти на виході перетворювача, яка забезпечує номінальний режим роботи двигуна, до заданого струму з ПЛК на вході перетворювача. Оскільки керування відбувається струмом (4 – 20) мА, а частота змінюється в діапазоні (0 – 50) Гц, номінальній частоті  $f_n = 50$  Гц буде відповідати струм  $I_{3н} = 20$  мА і вирішується за формулою:

$$k_{\text{чп}} = \frac{f_n}{I_{3н}} = \frac{50}{20} = 2,5; \quad (2)$$

стала часу перетворювача визначається за формулою:

$$T_{\text{чп}} = T_{\emptyset} + \frac{1}{2mf} = 0.006; \quad (3)$$

де

$T_{\emptyset}$  - стала часу контуру системи імпульсно-фазового керування (СІФУ) ЧП, включаючи фільтр;

$m$  – число фаз ТПЧ.

Значення сталої часу ланцюга СІФУ перетворювачів зазвичай складає 0, 003÷0,005 с, тому при моделюванні прийнято приймати значення  $T_{\emptyset}$  із даного діапазону. Оскільки ПЧ реалізує керування трифазним двигуном, то число фаз  $m = 3$ . Номінальне значення вихідної частоти  $f_n$  складає 50 Гц.

Таким чином, можна записати передаточну функцію частотного перетворювача:

$$W_k(s) = \frac{k_{чп}}{T_{чп}s+1} = \frac{2,5}{0,006s+1}. \quad (4)$$

#### *Передаточна функція асинхронного двигуна*

Диференціальне рівняння для асинхронного двигуна виглядає наступним чином:

$$T_{дв} \frac{d\omega}{dt} + \omega = k_{дв} f; \quad (5)$$

асинхронний двигун представляє собою аперіодичну ланку, яка перетворює електричну енергію в швидкість обертання валу.

Виходячи із технічних характеристик двигуна, розрахуємо сталу часу  $T_{дв}$  і коефіцієнт передачі  $k_{дв}$ .

Сталу часу приймемо рівною  $T_{дв} = 0,72$ с. Коефіцієнт передачі двигуна може бути визначений як відношення номінальної кутової швидкості обертання двигуна  $\omega_{двн}$  до номінальної частоти мережі живлення  $f_n$ . Будемо вважати, згідно документації на двигун, що номінальна кутова швидкість рівна 293 рад/сек, оскільки максимальна швидкість 2800 об/хв, а номінальна частота електроживлення 50 Гц.

$$k_{дв} = \frac{\omega_{двн}}{f_n} = 5,86. \quad (6)$$

Таким чином, можна записати передаточну функцію двигуна:

$$W_{дв}(s) = \frac{k_{дв}}{T_{дв}s+1} = \frac{5,86}{0,72s+1}. \quad (7)$$

#### *Передаточна функція редуктора*

В електроприводі AD00063 [30] використовується чверть оборотний редуктор, для даного редуктора передаточне відношення дорівнює 90 до 1, передаточна функція редуктора прийме вигляд:



$$K_{рд} = \frac{1}{90} = 0,01. \quad (8)$$

*Передаточна функція клапана*

Диференціальне рівняння для клапана виглядає наступним чином:

$$\frac{dP_{вх}}{dt} = \lambda; \quad (9)$$

клапан представляє собою інтегруючу ланку, яка перетворює ступінь відкриття  $\lambda$  клапана в тиск на виході.

Таким чином, можна записати передаточну функцію клапана:

$$W_k(s) = \frac{1}{s}. \quad (10)$$

*Передаточна функція бак барабану*

Об'єктом керування є бак барабану після клапана. Передаточна функція об'єкта керування визначається як передаточна функція резервуару:

$$W_{оу}(s) = \frac{k_{оу}}{s}, k_{оу} = \frac{1}{2L\sqrt{Dh-h^2}}, \quad (11)$$

де  $L$  і  $D$  – довжина і внутрішній діаметр баку, м.;

$H$  – рівень розділу фаз вода-пара мм.

Датчик рівня згідно літературним джерелам можна вважати безінерційною ланкою.

Далі змодельємо отриману систему в Simulink (рисунок 4.2)

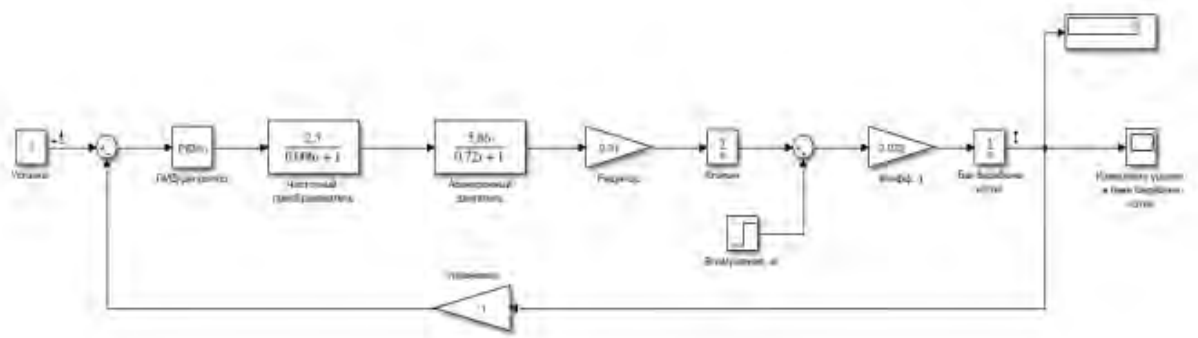


Рисунок 4.2 - Модель структурної схеми автоматичного регулювання

За допомогою засобів MathLab по налаштуванню ПІД-регулятора, налаштуємо регулятор автоматично. Завдяки цій функції можна підібрати час перехідного процесу і перерегулювання для заданої системи (рисунок 4.3).

В якості впливу задано рівень 1,1 міліметр. Методом автоматичного налаштування визначені коефіцієнти ПІД-регулятора.

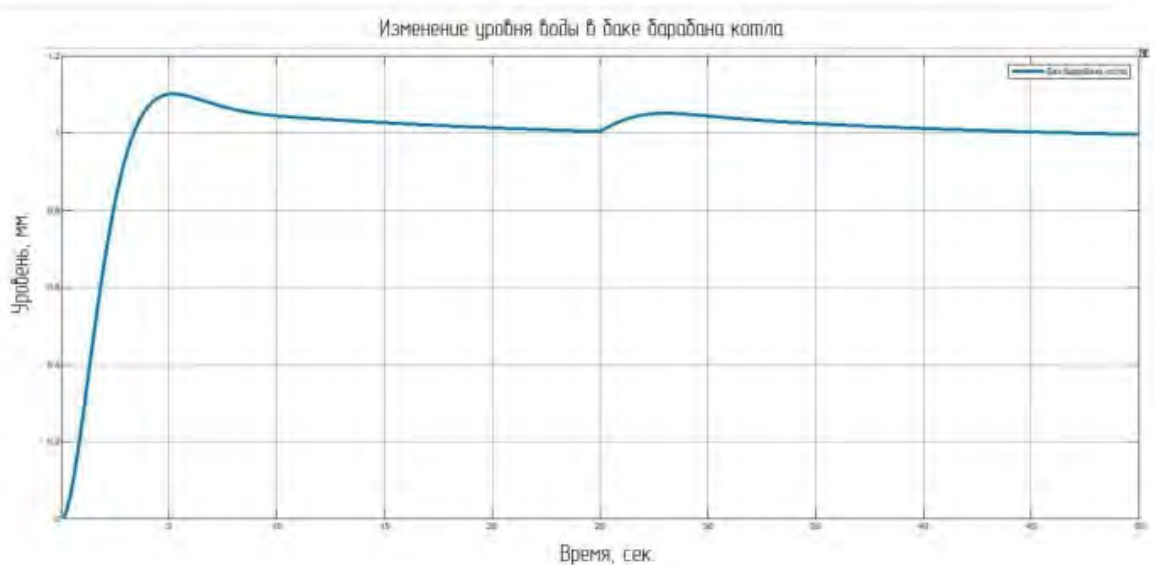


Рисунок 4.3 – Графік перехідного процесу

Таким чином, час перехідного процесу дорівнює 23 секунди, а перерегулювання 8,10 %.

Необхідним є перевірка розробленої системи на стабільну роботу при виникненні збурюючих факторів. На 25 секунд виміру в систему вводиться збурюючий вплив у вигляді моментального підвищення рівня води на 0,1 мм, з яким система справляється за час, рівний 23 с.

Аналізуючи отримані результати моделювання системи можна зробити висновок про те, що система виходить на задане значення 1 мм, з незначним перерегулюванням, що говорить про працездатність і стійкість системи.

## **4.2 АЛГОРИТМ ПРОГРАМИ**

Розробка алгоритму програми виконується на основі паспортних даних технологічного процесу даного парового котла.

При запуску автоматичного режиму роботи парового котла відбувається перевірка виставлених завчасно уставок на технологічних ділянках, а це: тиск газу, рівень води, розрядження, тиск пари на вході, поява факела на запальнику. Потім відбувається запуск вентилятора і димососа на 60 секунд, це необхідно для продувки топки парового котла. Після продувки топки обороти вентилятора і димососа знижуються до заданої уставки, після чого відбувається перевірка розрядження. Також перевіряється вимірювальними приладами рівень у баку барабана котла, якщо рівень низький, відкривається клапан подачі води, в іншому випадку сигнал про аварію і зупинка котла. Після вирівнювання рівня, перевірка тиску газу в газопроводі, якщо тиск відповідає уставці, то запускається запальний пристрій і перевіряється горіння за допомогою фотодатчика. Наступним етапом є відкриття газової заслінки і вихід на задане значення вентилятора і димососа, а потім ввімкнення робочого режиму котла.

В процесі роботи перевіряється рівень у баку і вмикається програмний регулятор рівня води. При недотриманні однієї з умов відбувається попередження оператора про збільшення і зменшення значень, а потім аварійна зупинка парового котла.

### 4.3 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЕРА

Контролери Siemens Simatic S7-315 працюють з програмним пакетом Step 7 TIA Portal (рисунок 4.4) [31]. TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal – повністю інтегрований портал автоматизації) – це інтегроване середовище розробки програмного забезпечення для систем автоматизації технологічних процесів від рівня приводів і контролерів до рівня людино-машинного інтерфейсу. Це втілення концепції інтегрованої автоматизації і еволюційного розвитку сімейства Simatic компанії Siemens AG. Даний програмний продукт підтримує велику кількість мов програмування, таких як: LAD (мова сходинкових діаграм), FBD (мова блочних діаграм), SCL (структурована мова керування), STL (стандартна бібліотека шаблонів) і GRAPH (графічна мова послідовних кроків).



Рисунок 4.4 – Головний інтерфейс і дерево проекту

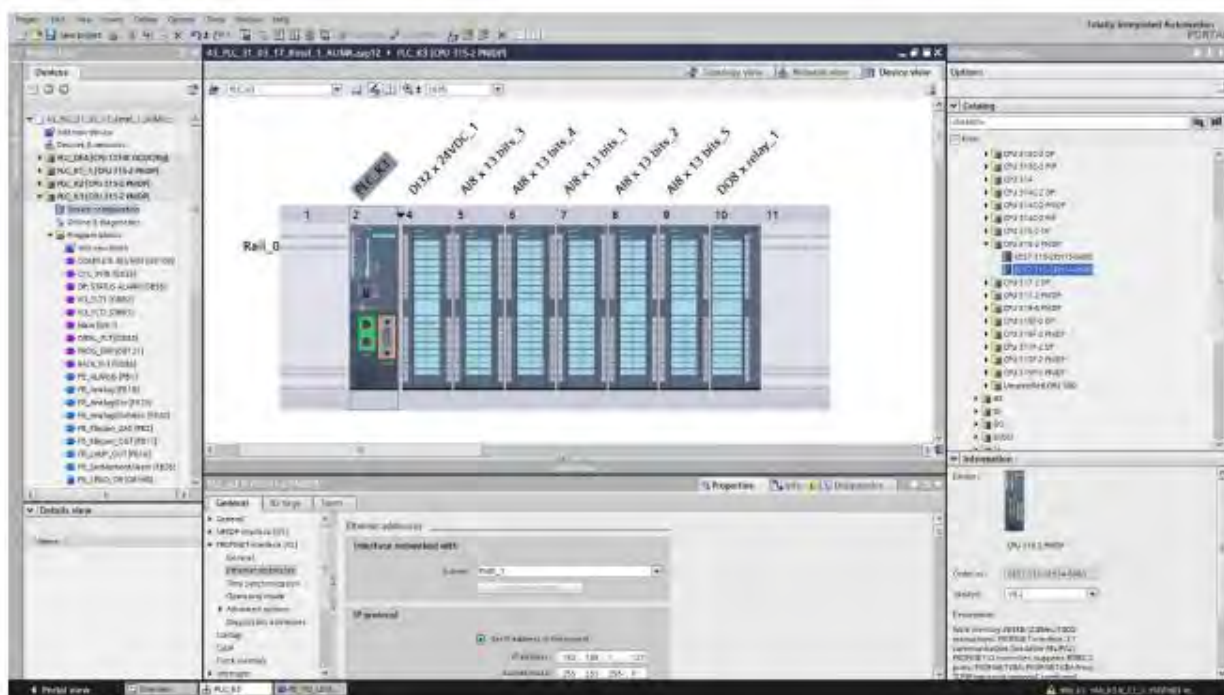


Рисунок 4.5 – Контролер з модулями вводу-виводу

Також необхідна панель оператора для керування паровим котлом по місцю із шафи керування. Для даної задачі обрано панель Siemens моделі TP1200 Comfort (рисунок 4.6). Це сенсорна панель діагоналлю 12 дюймів. Інтерфейс зв'язку Ethernet з 2 портами на борту для з'єднання з контролером.

Має однорідний набір розширених функцій людино-машинного інтерфейсу: реєстрація аварійних сигналів, керування рецептурами, архівування даних, побудова графіків, векторна та точкова графіка, сценарії, відображення Інтернет сторінок, відображення документів Adobe Acrobat, MS Word та MS Excel, перегляд діагностичних даних, можливість перемикаати мову повідомлень і т.д.



Рисунок 4.6 – Панель оператора TP1200 Comfort

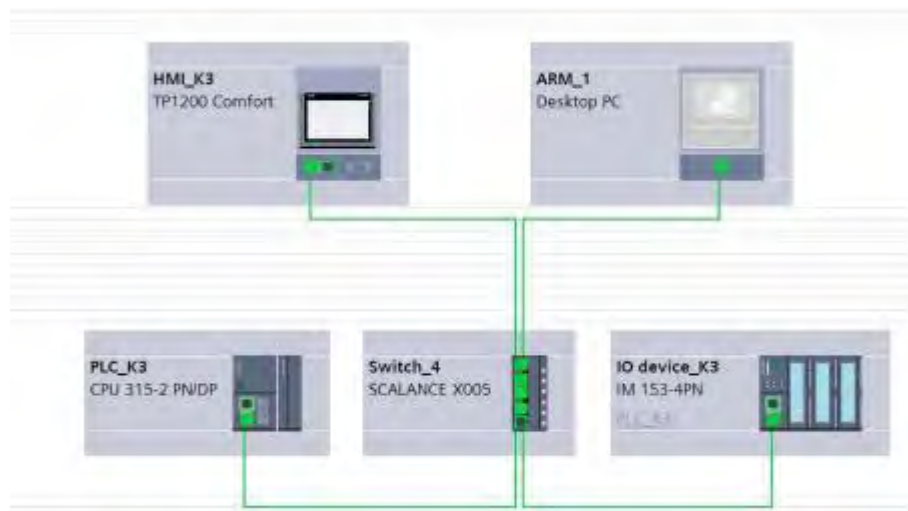


Рисунок 4.7 – Топологія побудови мереж в проєкті

Для написання програми в першу чергу необхідно внести таблицю тегів (буквенно-цифрове ім'я) для звернення до даних (змінних) в пам'яті контролера. Одним із основних компонентів програми контролера є блоки

регулятори, які надалі з виходу модуля видають сигнал на регулюючі клапани і заслінки (рисунок 4.8).

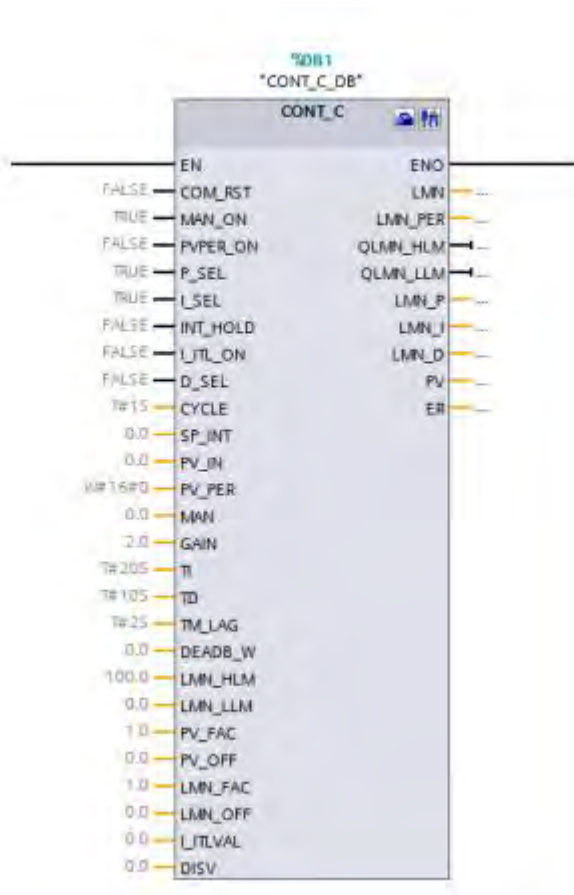


Рисунок 4.8 – Блок аналогового регулятора

Також для опитування датчиків використовується блок шкалювання аналогового сигналу, він необхідний для конвертування цілих даних з датчика в реальне значення для очей оператора (рисунок 4.9). Блок шкалювання аналогового сигналу є важливою складовою системи опитування датчиків, оскільки він забезпечує перетворення цифрових значень, які отримуються від датчиків, на зрозумілі для людини фізичні одиниці вимірювання. Цей процес шкалювання дозволяє операторам ефективно сприймати та аналізувати дані, зібрані з датчиків у реальному часі.

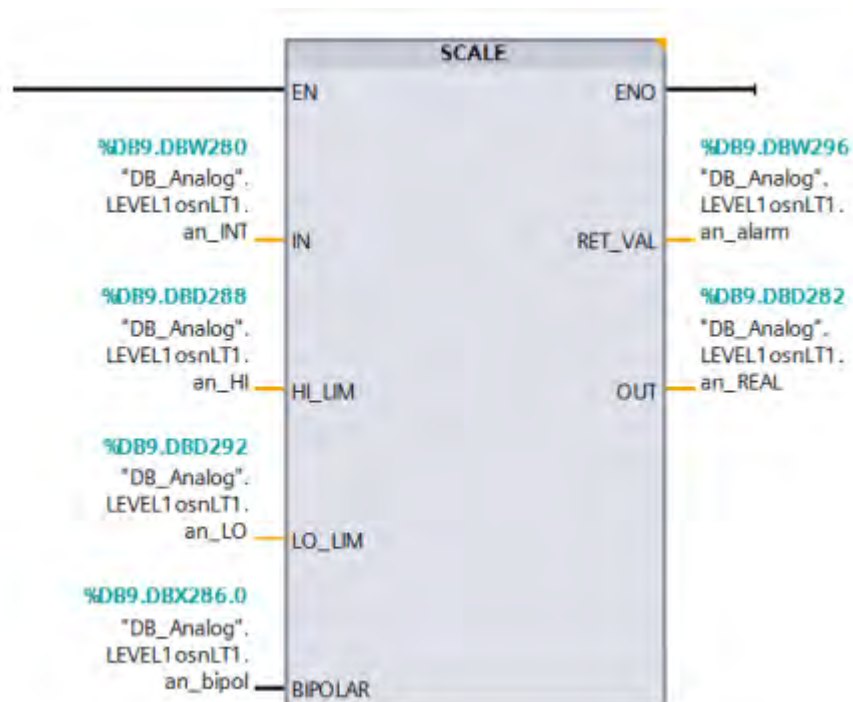


Рисунок 4.9 – Блок шкалювання аналогового сигналу

#### 4.4 ЕКРАННІ ФОРМИ ДЛЯ ПАНЕЛІ ОПЕРАТОРА

Для місцевого керування паровим котлом потрібна візуалізація для панелі оператора. Дана задача виконується в програмному продукті WinCC TIA Portal [32]. WinCC TIA Portal є потужним інтегрованим середовищем розробки, яке дозволяє створювати графічні інтерфейси користувача (HMI) для контролю та керування промисловими процесами, у тому числі й управління паровими котлами.

За допомогою WinCC TIA Portal можна створити зручну і інтуїтивно зрозумілу візуалізацію, яка дозволить оператору контролювати та керувати параметрами парового котла. Це може включати в себе відображення поточних значень тиску, температури, рівня води та інших параметрів, а також елементи керування, наприклад, кнопки, регулятори або повзунки для зміни параметрів котла.



WinCC TIA Portal також надає можливість створення алармів та подій, що допомагають оператору вчасно виявляти та реагувати на будь-які проблеми або незвичайні ситуації, які можуть виникнути з паровим котлом.

Крім того, WinCC TIA Portal дозволяє збирати та архівувати дані про роботу котла, що надає можливість аналізувати та вдосконалювати ефективність процесу в майбутньому.

Інформація на екрані панелі оператора представляється у вигляді: зображень технологічного процесу, числових значень параметрів, зображень аналогових параметрів у вигляді стовпчиків рівнів рідин, графіків параметрів, а також текстових повідомлень про події.

Окрім цього, WinCC TIA Portal підтримує можливість створення інтерактивних елементів, таких як кнопки або положення миші, які можуть взаємодіяти з параметрами котла. Наприклад, ви можете налаштувати кнопку "Старт/Стоп", щоб управляти режимом роботи котла, або встановити повзунок для налаштування потужності котла в режимі ручного керування.

WinCC TIA Portal також забезпечує можливість створення різних рівнів доступу та автентифікацію операторів, що забезпечує безпеку інформації та обмеження прав доступу до параметрів котла. Це дозволяє налаштовувати рівні доступу для різних операторів залежно від їхніх повноважень та відповідальності.

Загалом, WinCC TIA Portal є потужним інструментом для розробки візуалізації парового котла для панелі оператора, дозволяючи забезпечити зручне та ефективне керування процесом управління паровим котлом.

## **ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 4**

Розроблено алгоритм автоматичного керування. Створено модель системи регулювання рівня в баку. Розглянуто лінеаризовану модель системи керування. Створено модель структурної схеми автоматичного регулювання,

отримано графік перехідного процесу, визначення параметру його якості.  
Розроблено алгоритм програми.

## ВИСНОВОК

Розроблена автоматизація технологічного процесу пароводяного котла передбачає використання сучасних апаратних і програмних засобів, що забезпечують високу надійність та ефективність процесу.

Функціональна схема автоматизації включає різноманітні сенсори, пристрої вимірювання та керування, а також комп'ютерну систему для збору, обробки та аналізу даних. Сенсори вимірюють різні параметри, такі як температура, тиск, рівень рідини тощо, і передають ці дані до комп'ютерної системи.

Алгоритм керування розроблено з метою оптимального керування технологічним процесом. Він враховує дані, зібрані сенсорами, і приймає рішення щодо керування різними параметрами котла, такими як подача палива, регулювання тиску, температури тощо. Алгоритм також може включати заходи безпеки, наприклад, автоматичне вимкнення котла в разі перевищення певних меж.

Завдяки автоматизації технологічного процесу досягаються численні переваги. Перш за все, забезпечується більш точне та стабільне керування параметрами котла, що дозволяє підтримувати оптимальні умови роботи. Це призводить до зниження споживання палива та енергії, покращує ефективність процесу та зменшує негативний вплив на довкілля.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Третій розділ міжнародного стандарту ІЕС 61131-3.
2. ООО СО «Беленергомашпроект». Руководство по эксплуатации.
3. ООО «НТО «ЭКОТОП».
4. ДСТУ 21.404-85 «Автоматизація технологічних процесів. Позначення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах ».
5. <https://www.siemens.com/ua>
6. CPU 315-2 PN/DP - Инженерное Бюро Авиган
7. Modicon M251 | Schneider Electric Україна (se.com)
8. 1756-L81E Logix5580 Processor | Allen-Bradley
9. Детальные Данные Продукта - Industry Mall - Siemens
10. <http://www.moxa.com.ua/industrialethernet/products/eds205/EDS-2005-EL.htm>
11. D-Link DIS-100E-8W и DIS-100E-5W - новые промышленные коммутаторы (expert.com.ua)
12. Метран 150 ТА датчик абсолютного давления 150 та, 150 ТА2 , ТА3 цена - ПриборТрейд - ПриборТрейд (pribortrade.com.ua)
13. Датчик дифференциального тиску Deltabar S PMD75 Endress+Hauser: продаж, ціна у Києві. Датчики тиску від "ТОВ ТРИГЛА" - 15143532 (trigla.net.ua)
14. Перетворювачі SITRANS P DS III - Вимірювання тиску - Ukraine (siemens.com)
15. WWW.GERMIONA.COM.UA - Сайт: ПП "Торгівельна Фірма "ГЕРМІОНА"
16. 90.2044 — Каталог — JUMO
17. Датчик температуры iTHERM ModuLine TM101
18. Датчики тиску Метран-75, 4-20 мА . HART: продаж, ціна у Одесі. Прилади для вимірювання тиску, загальне від "Інтернет-магазин вимірювальних приладів "Водомір"" - 1451527543 (vodomir.in.ua)

19. Компания ТЕХНО LIFE (t-life.com.ua)
20. Купить Реле давления с дисплеем DPC 8380 / Trafag, цена — Prom.ua (ID#942521066)
21. Каталог (t-life.com.ua)
22. Метран 300ПР - купить вихреакустический преобразователь расхода на сайте Прибор Трейд - ПриборТрейд (pribortrade.com.ua)
23. OPTISONIC 3400 Для жидкостей в промышленных применениях | KROHNE Group
24. Фотодатчик двухканальный ФД-05ГМ (УФ+ИК) (kipia.info)
25. Устройства контроля пламени фотоэлектрические БСТ-ФД - Белсистемтехнологии (best-centre.com)
26. Датчики оптические инфракрасные (инфракрасный диапазон по пульсации яркости) СЛ-90-2Щ, СЛ-90-2АС | ТОВ "ЗАВОД УКРМАШПРОМ" (mashprom.com.ua)
27. Сигнализаторы горения ЛУЧ-1АМ-2К (kipia.info)
28. AUMA - Электроприводы SA и SAR
29. Электроприводы » Офіційний сайт 1А-Інжиніринг, дистриб'ютора BRAY Inc. в Україні (valves.com.ua)
30. Электродвигатель Auma AD00063-4-0.20 (electroprivod.info)
31. SIMATIC STEP 7 Basic - PLC Programming with SIMATIC STEP 7 (TIA Portal) - Ukraine (siemens.com)
32. Программное обеспечение конфигурирования SIMATIC WinCC (TIA Portal) - Инженерное Бюро Авиган (avigan.com.ua)