

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра Автоматизації технологічних, електромеханічних
і робототехнічних систем



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
на тему «Автоматизація процесу керування виробництвом пари
в колоагрегаті LOGANO»

Здобувач (ки) Воробйов К.І.
(прізвище, ініціали)
IV курсу групи Ат-22

Керівник доцент _____
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти:

(посада, прізвище та ініціали)

(посада, прізвище та ініціали)

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 04 червня 2026 р., протокол № 7

В.О. завідувача кафедри АТПіРС _____
(назва кафедри) Підпис

О.М. Жигайло
(ПІБ)

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Навчально-науковий інститут комп'ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування ім. П.М. Платонова
Кафедра	Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітня програма	Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації та робототехніці

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТП і РС
к.т.н., доц. Світий І.М.
05 січня 2025 року

Завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра

Здобувач Воробйов Кирил Ігоревич

1. Тема кваліфікаційної роботи «Автоматизація процесу керування виробництвом пари в котлоагрегаті LOGANO»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Левінський Валерій Михайлович, к.т.н., доцент. П.п. 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ від 31.12. 2025 року, № 743 .
3. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи на кафедру 12 червня 2026 року.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт.
5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):
 - Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.
 - Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.
 - Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.
 - Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом
 - Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі
 - Розділ 6. Вибір параметрів технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК.
 - Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.
 - Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділи 2, 3	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 4	Світій І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		

7. Дата видачі завдання « 09 » січня 2026 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Номер розділу	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Розділ 1	«24» березня 2026 р.	
Розділ 2	«31» березня 2026 р.	
Розділ 3	«10» квітня 2026 р.	
Розділ 4	«15» квітня 2026 р.	
Розділ 5	«23» квітня 2026 р.	
Розділ 6	«30» квітня 2026 р.	
Розділ 7	«08» травня 2026 р.	
Розділ 8	«22» травня 2026 р.	

Здобувач Воробйов К.І.

Керівник роботи Левінський В.М.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач Воробйов К.І. _____
 Прізвище, ініціали Підпис

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Воробйова К.І. «Автоматизація процесу керування виробництвом пари в котлоагрегаті LOGANO» викладена на 133 сторінках, кількість таблиць 15 , рисунків – 126 , додатків - 2, джерел з переліку посилань - 13.

Ключові слова: автоматизація, об'єкт керування, система автоматичного керування, імітаційне моделювання, оптимальний параметричний синтез, програмований логічний контролер, АРМ оператора, принципова електрична схема.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування процесом виробництвом пари.

Мета роботи – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування виробництва пари, які досягаються за рахунок підвищення динамічної точності контурів САР, зниження числа аварійних ситуацій, покращення взаємодії з оператором-технологом.

Методи дослідження – методи теорії автоматичного керування, ідентифікації об'єкту керування, імітаційного моделювання.

Отримані результати – розроблені алгоритми керування, які забезпечують підвищення динамічної точності стабілізації регульованих змінних як в перехідних, так і в сталих режимах роботи САР; алгоритми пуску і зупинки обладнання; програми для ПЛК, що реалізують ці алгоритми; розроблені інтерфейси АРМ оператор-технолога і наладчика САР; фрагменти документації технічного забезпечення системи керування.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць	6
Вступ.....	7
1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними, виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.....	8
2. Розробка концептуальної моделі об'єкта керування, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання	23
3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз сар.....	41
4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.....	63
5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі	73
6. Вибір параметрів технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК.....	88
7. Розробка Scada для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	97
8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.....	111
Висновки	121
Список посилань	124
Додатки.....	127

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ

ОК – об'єкт керування;

САК – система автоматичного керування;

САР – система автоматичного регулювання;

ОПС – оптимальний параметричний синтез;

ПДВ – підвищена динамічна точність;

ПЛК – програмований логічний контролер;

АРМ – автоматизоване робоче місце.

ВСТУП

Технологічний процес виробництва пари потребує автоматичного регулювання ряду параметрів, основним з яких є рівень води в котлі.

Тому розробка САР рівня є актуальною задачею, якій і присвячена дана кваліфікаційна робота.

1. ОПИС ДІЛЯНКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЙОГО АГРЕГАТИВ ТА ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ НИМИ, ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ І КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ МОДЕРНІЗАЦІЇ САК

1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів

Для багатьох виробництв харчової промисловості необхідна пара, яка використовується для технологічних потреб, а також для опалення приміщень.

Схема технологічного процесу виробництва пари низького тиску (до 1 бар) представлена на рис. 1.1. Цьому тиску в 1 бар відповідає температура пари 120 °С. Спеціальними котлами для виробництва такої пари є жаротрубні димогарні котли Logano SND 615, укомплектовані пальником газу Gt/EMMe. Природний газ у суміші з повітрям згорає у топці котла, підігріваючи воду в котлі до стану кипіння. Пара з котла по паропровову подається до споживачів. Конденсат пари повертається в котел, а для компенсації втрат води в котлі вона додається з мережі. Модуль WSM-TE - деаератор служить для пом'якшення води, тобто видалення з неї речовин, які утворюють накип, за рахунок додавання хімічних реактивів, а також видалення газів з конденсату і води.

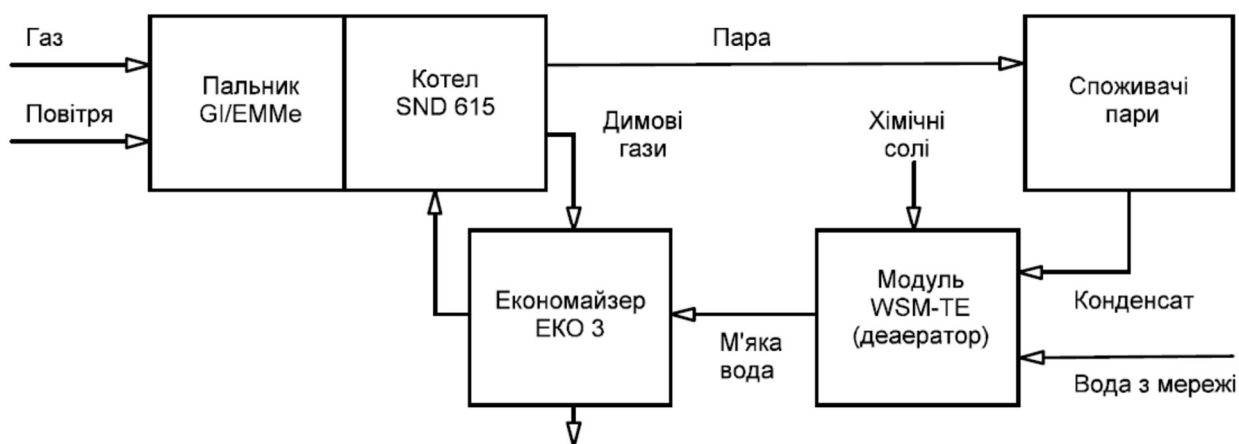


Рис. 1.1 Схема технологічного процесу

Економайзер ЕКО 3 підігріває воду, яка подається в котел, за рахунок тепла від димових газів.

1.1.2. Опис конструкції технологічного агрегату й особливостей його експлуатації.

У котлах Logano SND 615 поверхні нагрівання, жарова труба й димогарні труби розташовані у водяній сорочці. В верхній частині котла перебуває парова камера. Водяний і паровий простір мають чіткий розподіл. У результаті цього всі інгредієнти живильної води, крім летючих добавок і компонентів, залишаються в котловій воді. Солі й шлам можуть бути виведені з водяного простору. Виробляється насичена пара без залишкової вологості.

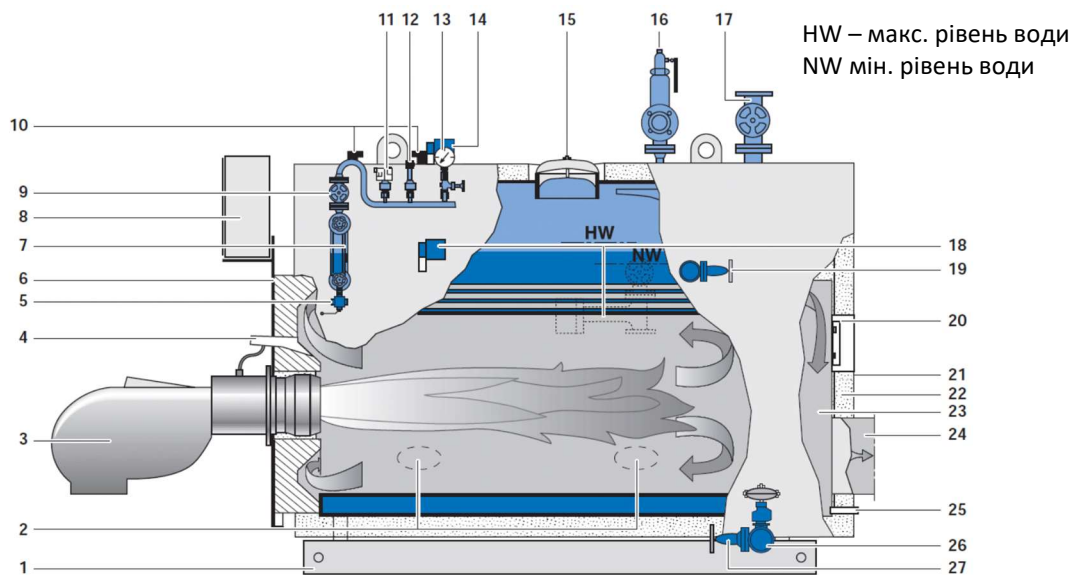


Рис. 1.2 Комплектація котла SND 615

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1 Опорна рама | 15 Оглядний люк, паровий контур |
| 2 Оглядні люки, водяний контур | 16 Пружинний запобіжний клапан |
| 3 Пальник, | 17 Пароразборний вентиль, |
| 4 Оглядний отвір полум'я, | 18 Датчик виміру електропровідності |
| 5 Продувний кран, кран для відбору проб води | 19 Запірний вентиль живильної води |
| 6 Передні двері котла | 20 Оглядний люк димових газів |
| 7 індикатор рівня води | 21 Захисний кожух |
| 8 Шафа керування | 22 Ізолююча обшивка |
| 9 Запірний вентиль | 23 Збірна камера димових газів |
| 10 Електроди контролю мінім. рівня води | 24 Патрубок підключення димової труби |
| 11 Обмежник тиску | 25 Патрубок конденсату димових газів |
| 12 Датчик тиску (4 мА - 20 мА) | 26 Автоматика видалення шламу |
| 13 Манометр, запірний вентиль | 27 Зливальний запірний вентиль |
| 14 Датчик рівня (4 мА - 20 мА) | |

Вільний проміжок у водяній камері над жаровою трубою забезпечує безперешкодний відвід парових пухирців, які утворюються в результаті нагрівання на поверхні жарової труби. При цьому більш 50% потужності нагрівання переходить у пару. Активний відтік пухирців водяної пара сприяє кращому охолодженню жарової труби й знижує термічне навантаження на матеріал.

У парових котлах подача теплоносія здійснюється за рахунок його власного тиску. Це дозволяє відмовитися від установки насоса на трубопроводі подачі. Для повернення конденсату в котел потрібен конденсатний насос. Завдяки відкритій системі конденсатного контуру на парових установках не потрібен розширювальний бак. Проблемою для паропроводів є тепловтрати і утворення конденсату при охолодженні пари. Тому необхідно часто видаляти воду й застосовувати короткі ділянки подачі пари.

Гідравлична схема котла Logano SND 615 представлена на рис. 1.3.

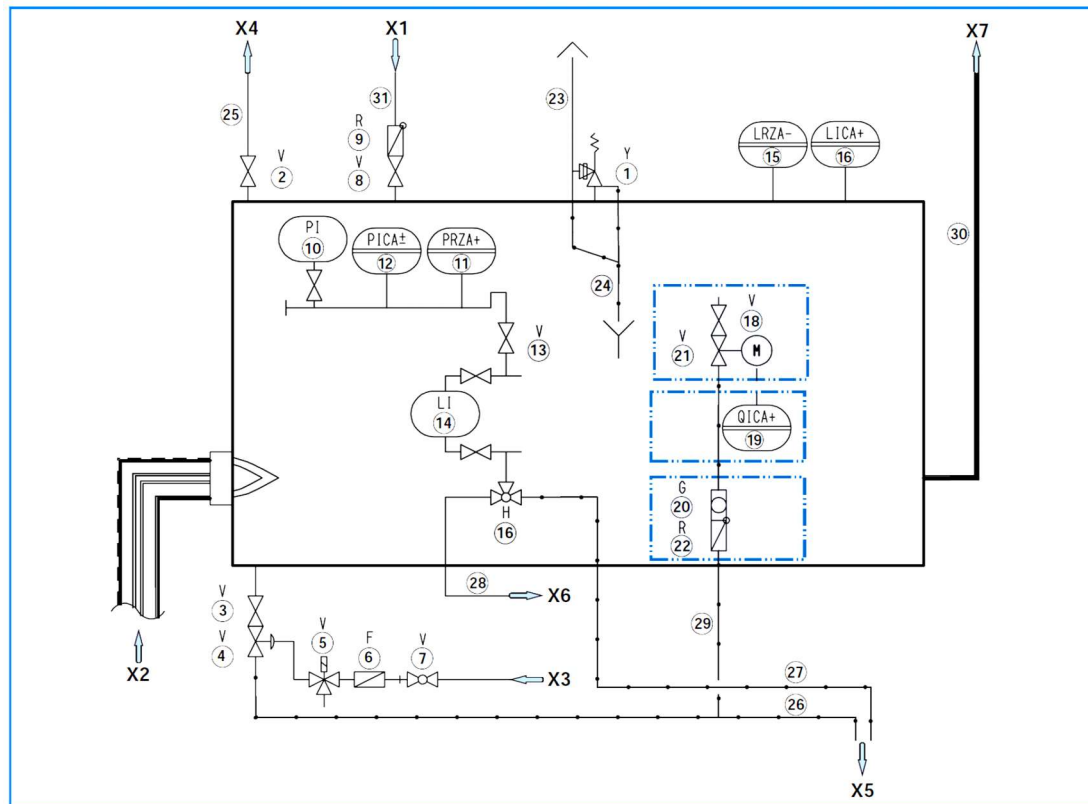


Рис. 1.3 Гідравлична схема Logano SND 615

1 Запобіжна арматури	20 Витратомір
2 Запірна парова арматури	21 Регулююча арматури знесолення
3 Зливальна запірна арматури	22 Зворотний клапан
4 арматури видалення шламу	23 Запобіжна лінія
5 Триходова керуюча арматури	24 дренажна лінія відводу води
6 Фільтр	25 Паропровід
7 Запірна арматури	26 Зливальний трубопровід
8 Запірна арматури живильної води	27 Лінія сбросу рівня води
9 Зворотний клапан живильної води	28 Трубопровід відбору проб води
10 Манометр	29 Трубопровід знесолення котлової води
11 Обмежник тиску	30 Димохід
12 Перетворювач -Вимірник тиску	31 Напірна лінія живильної води
13 Запірна арматури	X1 Подача живильної води
14 Показчик рівня	X2 Подача палива
15 Обмежник рівня	X3 Стиснене повітря
16 Перетворювач-Вимірник рівня	X4 Відбір пари
17 Триходова запірна арматури	X5 Стічні води до барботера
18 Запірна арматури знесолення	X6 Проби води до охолоджувача
19 Регулятор знесолення	X7 Димові гази в димар

Регулювання потужності парових котлів звичайно здійснюється по тискові - параметру, який залежить від теплової потужності, що підводиться до пальника. Зростання споживання пари веде до зниження його тиску, у результаті через система регулювання потужності підвищує підведення енергії й навпаки. Точне регулювання тиску для споживача на котлі неможливе й повинне здійснюватися регулятором тиску, що додатково підключається, (краще безпосередньо перед споживачем) з відповідним блоком керування. Сам котел повинен забезпечувати підвищений тиск для такого регулятора, при цьому слід враховувати втрати тиску на ділянці між котлом і споживачем.

Вимірювані й регульовані параметри парового котла

- 1 Вимір рівня води, регулювання рівня води, обмеження рівня води
- 2 Вимір тиску, обмеження тиску, регулювання потужності
- 3 Видалення шламу, злив

Додаткові регульовані параметри

- Температура димових газів
- Температура перегрітого пари

Додаткові вимірювані параметри

- Витрата палива

- Витрата пари
- Витрата живильної води
- Температура димових газів
- Температура пари

Правильний контроль котлової води є умовою для довговічної безвідмовної й безаварійної роботи котла. З живильною водою в котел можуть проникнути речовини, що втримуються в підживлювальній воді, яка пройшла хімічну водопідготовку. Якщо вивід солі й шламу не відбувається або відбувається в незначній кількості, то підвищується концентрація солі й схильність до вспінення, що знижує якість пари. Занадто інтенсивне видалення солі й шламу пов'язане з небажаними втратами води й тепла. Тому застосовується автоматичне регулювання знесолення .

Регулювання потужності пов'язане з механічними й електронними вузлами газового пальника, як східчастого, так і модульованого.

Регулювання рівня може бути виконане двопозиційним або безперервним. Нововведенням є застосування живильного насоса з регулюванням частоти обертання. Іншими функціями системи керування є регулювання процесу знесолення й автоматика видалення шламу.

Пальник. Двопаливні двоступінчасті прогресивні або модуляційні пальники серії GI/EMME розроблені для використання в теплогенераторах різного призначення середньої й великої потужності.



Рис. 1.4 Схема приєднання пальника до газової мережі

1 Газопровід	12 Пальник
2 Ручний запірний кран	13 Блок контролю герметичності клапанів
3 Антивібраційна вставка	14 Перехідник газова рампа - пальник (адаптер)
4 Манометр	15 Реле максимального тиску газу
5 Фільтр	P1 Штуцер для виміру тиску в голові пальника
6 Стабілізатор тиску газу	P2 Штуцер для виміру тиску після стабілізатора
7 Реле мінімального тиску газу	P3 Штуцер для виміру тиску перед фільтром
8 VS запобіжний електромагнітний клапан	
9 VR регулюючий електромагнітний клапан	
10 Прокладка й фланець пальники	
11 Дросельна газова заслінка	

Можливість роботи в модуляційному режимі забезпечує точну підтримку контрольованого параметра на заданому рівні з високим ККД у всьому діапазоні модуляції. На пальниках установлена дросельна газова заслінка, яка управляється серводвигуном, з'єднаним з ексцентриком зі змінюваним профілем. Тому дані пальники комплектуються одноступінчастими газовими мультиблоками (MBZRDLE 420 CT)

Регулювання подачі повітря для горіння здійснюється за допомогою зміни положення повітряної заслінки, яка управляється електричним сервоприводом через ексцентрика зі змінюваним профілем. Повітряна заслінка плавно змінює своє положення при зміні потужності пальника й закривається при його зупинці.

Пальники серії GI/EMME можуть працювати у двох режимах: "двоступінчастому прогресивному" або в "модуляційному" режимі. При плавній "модуляційній" регулюванні пальник змінює свою потужність у рамках діапазону модулювання, підтримуючи контрольований параметр (тиск або температура) на заданому рівні. Необхідним елементом системи регулювання є датчик (тиску або температури) і електронний ПІД-регулятор (модулятор).

1.1.3. Формулювання (у загальному виді) умов, при яких можливо й доцільно реалізовувати розглянутий технологічний процес.

Метою будь-якого технологічного процесу, зокрема й процесу виробництва пари, є одержання заданих продуктів із заданими показниками якості. І, звичайно, даний технологічний процес доцільно реалізовувати в тому випадку, якщо в результаті його проведення підприємство мінімізує економічні витрати. А для цього необхідно, щоб виконувалися деякі умови. Для процесу виробництва пари вони наступні:

- продуктивність котла за 1 годину, не повинна бути менше, ніж за паспортом;
- питомі витрати енергії на процес не повинні перевищувати нормативних значень;
- режими роботи технологічного встаткування не повинні виходити за гранично-припустимі;
- шкідливий вплив технологічного процесу на людину й природу не повинне перевищувати нормативних значень;
- порушення режимів ведення технологічного процесу й роботи устаткування, яке приводить до аварійних ситуацій, переростання яких в аварію приводить до значних економічних втрат або навіть до катастрофічних наслідків, повинні бути рідкими явищами й повинні бути передбачені заходи щодо попередження таких ситуацій.

1.1.4 Параметризація схеми технологічного процесу й загальна (на якісному рівні) характеристика параметрів і їх взаємозалежностей

Параметризована схема технологічного процесу є графічним відображенням руху й перетворення матеріальних і енергетичних потоків. Кожний потік і процес перетворення його механічних, фізичних, хімічних і біологічних властивостей характеризується набором параметрів, які відображають їхньої властивості й умови перетворення потоків. Нанесення цих параметрів на схему технологічного процесу і є її параметризація. Параметризацію схеми технологічного процесу проведемо на базі рис. 1.3.

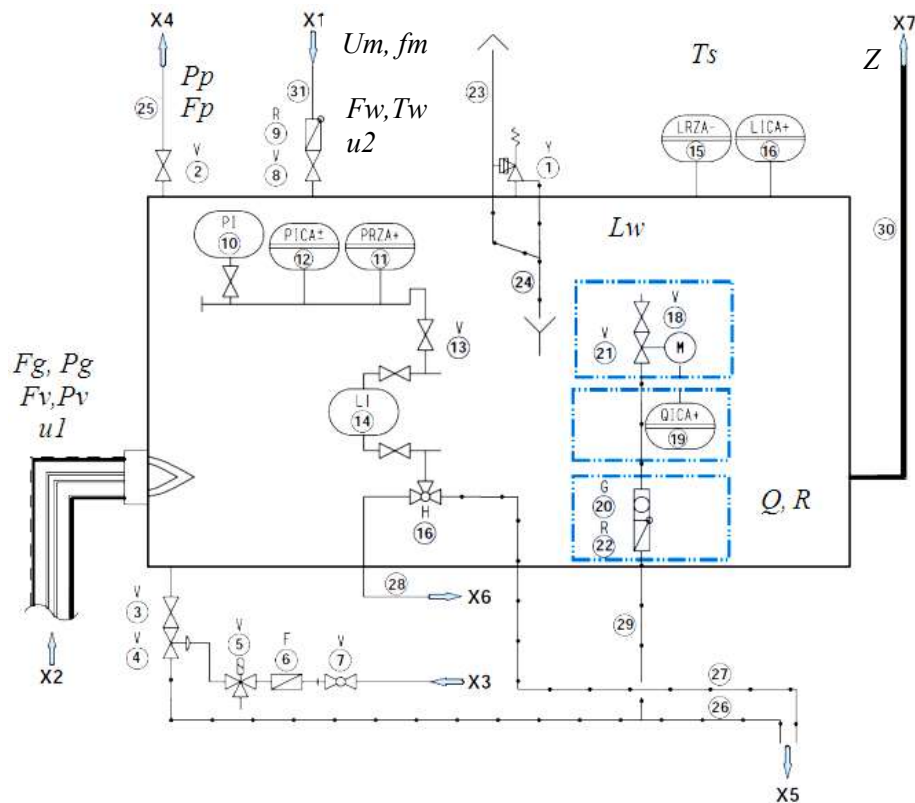


Рис. 1.5 Параметризована схема технологічного процесу

Розглянемо параметри, нанесені на дану схему:

а) параметри, що характеризують енергоносії:

- F_g, P_g – витрати і тиск газу [куб.м/год], [бар];
- F_v, P_v – витрати і тиск повітря [куб.м/год], [бар];
- U_m – напруга в електромережі, [В];
- f_m – частота [Гц];
- u_1 - керуюча дія, яка визначає продуктивність пальника[%хро];

б) параметри, що характеризують вироблену пару:

F_p, P_p – витрати і тиск пари на виході з котла [кг/год], [бар];

в) параметри, що характеризують живильну воду:

- F_w, T_w – витрати і температура живильної води [куб.м/год], [°C];
- u_2 – керуюча дія – частота обертання насоса подачі живильної води [%хро];

г) параметри, що характеризують котлову воду і стан поверхонь теплообміну:

- L_w – рівень води [%];
- Q - кількість домішок [%];
- R – степінь налипання на повехні [%];

д) параметри, що характеризують вплив навколишнього середовища:

- T_s - температура навколишнього середовища [$^{\circ}\text{C}$];
- Z – кількість шкідливих викидів в атмосферу [%].

1.1.5. Виявлення нормативів ведення технологічного процесу роботи технологічного агрегату.

Основу нормативів становлять три основні регламенти: технологічний, експлуатаційний, техніко-економічний і екологічний.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті процесу виходить продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналів технологічних параметрів.

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного встаткування. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від експлуатаційних параметрів даного технологічного об'єкта.

Техніко-економічний і екологічний регламент – визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних або граничнооприпустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів.

Для нашого процесу:

- технологічний регламент – P_p - тиск пари, яка подається [бар];
- експлуатаційний регламент- L_w – рівень котлової води [%];

-техніко-економічний і екологічний регламент- G- питомі витрати енергії [кДж]; Z – процент шкідливих викидів в атмосферу у продуктах згоряння [%].

1.1.6. Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски.

Відхилення параметрів процесу виробництва пари від регламентних значень, обумовлених зміною умов, які характеризують ведення процесу, можуть перевищувати припустимі значення. Однак при виході за допуски технологічних регламентів технологічний процес не зупиняється, а вихід за допуски ліквідується із часом. Наслідком виходу технологічних параметрів за допуски є зниження якості продукції, що випускається.

Допуски на відхилення поточних значень регламентованих параметрів діляться на тривалі й короточасні. Припустимі відхилення визначають зону незначних відхилень, посередині якої значення параметра можна вважати близьким до нормативного, тому ці відхилення не ліквідують. Короточасні припустимі відхилення параметрів перевищують зону незначимих відхилень і приводять до зниження ефективності процесу, тому вони припустимі тільки протягом обмеженого часу, який задається й входить у регламент. Вихід параметрів за зону короточасно припустимих відхилень свідчить про відхилення в технологічному процесі або в експлуатації устаткування, які можуть привести до аварії.

У нашому випадку для параметра P_p - тиск пари короточасні відхилення становлять 0,05 бар на протязі 60 сек. Якщо тиск пари збільшиться більше допустимого, то спрацює захист котла.

Для L_w - рівня котлової води короточасні відхилення становлять 10 см на протязі 100 сек і рівень не можна зменшувати нижче допустимого. В противному разі спрацює захист котла.

У подальшому, враховуючи учбовий рівень задачі керування процесом виробництва пари, будемо розглядати лише обмеження по рівню котлової води ± 10 см від номінального рівня, який приймемо за 0.

Табл. 1.1 Таблиця регламентів

№	Найменування параметрів	Позначення	Одиниця виміру	Номинальні значення	Припустимі відхилення від номіналу		
					Тривалі	Короткочасні	
					величина	величина	час, сек
1	Рівень котлової води	Lw	см	0	± 3	± 10	100

1.1.7. Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату.

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних внаслідок зміни умов, у яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами й можуть бути згруповані по деяких ознаках.

Сировинні параметри характеризують живильну воду: F_w , T_w – витрати і температура живильної води, [куб.м/год], [°C]

Енергетичні параметри характеризують властивості енергоносіїв. Для даного процесу до них відносяться: F_g , P_g – витрати і тиск газу [куб.м/год], [бар]; F_v , P_v – витрати і тиск повітря [куб.м/год], [бар], U_m (напруга електромережі) [В], f_m (частота електромережі) [Гц], T_s – температура навколишнього середовища [°C].

Механічні параметри технологічного устаткування характеризують стан його робочих органів. До них відносяться: R - налипання на поверхнях труб [%].

1.2.4. Формалізація параметричної схеми технологічного процесу.

Параметризована схема технологічного процесу має змістовний характер. Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами технологічного процесу досягається за рахунок переходу до формалізованої параметричної схеми технологічного процесу. При цьому ті параметри, які відбивають мету функціонування об'єкта моделювання й додаткові вимоги до нього, тобто ті параметри, які регламентовані, будуть вихідними, а параметри, що відбивають умови функціонування об'єкта – вхідними.

Параметрична схема технологічного процесу виробництва пари представлена на рис. 1.6.

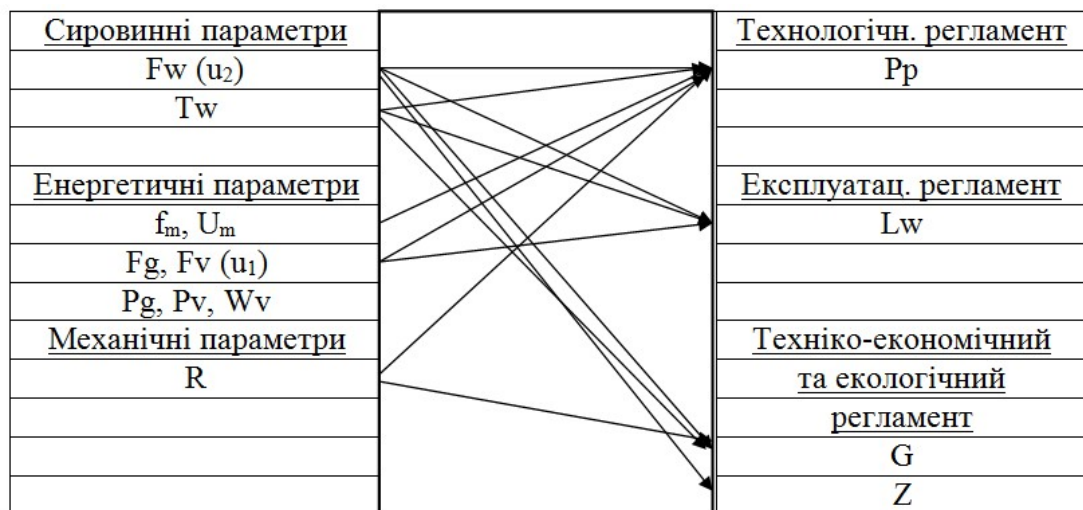


Рис. 1.6 Параметрична схема технологічного процесу виробництва теплоносія

1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП

1.2.1. Оцінка існуючого рівня реалізації функції регулювання для технологічних та експлуатаційних параметрів

Технологічний параметр P_r – тиск пари на виході з котла потребує автоматичного регулювання через те, що витрати пари в процесі роботи котла постійно змінюються, оскільки змінюються витрати у споживачів пари. Тому параметр P_r стабілізується на заданому значенні за рахунок зміни продуктивності пальника – керуюча дія u_1 . На підприємстві ця функція

виконується автоматично без участі людини-оператора штатною автоматикою пальника газу Gt/EMMe. Тому у подальшому цей контур регулювання розглядати не будемо.

Експлуатаційний параметр L_w – рівень котлової води також потребує автоматичного регулювання через те, що при кипінні вода перетворюється на пар, який по паропроводу надходить до споживачів, що в різні проміжки часу можуть споживати різну кількість пари. Параметр L_w в існуючій системі регулюється по двом позиціям верхнього і нижнього рівня шляхом вмикання і вимикання насоса живильної води.

При модернізації системи керування пропонується від двопозиційного регулювання перейти до неперервного ПІД-регулювання, при якому сигнал від регулятора u_2 буде змінювати частоту живлення електропривода насоса, а відповідно і частоту його обертання.

Найбільш суттєво на рівень котлової води L_w впливають витрати пари G_p , яка надходить до споживачів. Тому цей параметр доцільно віднести до контрольованого збурення.

1.2.2. Оцінка існуючого рівня реалізації функції логічного (логіко-програмного) управління

Логічне управління котлом передбачає перехід від початкового неробочого стану до продуктивного стану, тобто реалізацію функції технологічного пуску. Умовами для його здійснення є достані рівні тиску газу і води в мережі, а також мінімально необхідний рівень котлової води. При пуску послідовно у часі треба відкрити відсічні клапани води і газу, а потім подати сигнал управління на штатну систему керування пальником. При цьому САР тиском в котлі буде переведена з ручного в автоматичний режим роботи. Далі слід також САР рівня в котлі перевести в автоматичний режим.

Технологічна зупинка котла передбачає перевід САР тиску в ручний режим, закриття відсічного клапану подачі газу. Потім слід перевести САР рівня в ручний режим і закрити відсічний клапан подачі води з мережі.

На підприємстві ці функції логічного управління оператор кола здійснює вручну.

Для запобігання виникнення аварії котла при збільшенні тиску в котлі, або при зменшенні рівня котлової води штатна система логічного управління автоматично закриває відсічні клапани подачі газу і води.

1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК

Потенційним джерелом підвищення ефективності виробництва пари є зменшення рівня води в котлі ближче до мінімального критичного рівня. Це зумовлено тим, що треба нагрівати менший об'єм води, і відповідно витратити менше газу на виробництво пари. Крім того, зважаючи, що котел має форму циліндра, то при зменшенні рівня води в котлі збільшується площа кипіння і пароутворення.

Однак зниження рівня води в котлі може привести до спрацювання аварійного захисту, після якого треба буде знову перезапускати котел в роботу. А це втрати часу і, відповідно температури води в котлі.

Щоб аварійний захист котла не спрацював, треба підвищити динамічну точність САР рівня води, що зменшить значення середньоквадратичного відхилення рівня води від заданого значення. І лише тоді можна зменшувати задане значення для САР рівня води.

Другим потенційним джерелом підвищення ефективності виробництва пари є реалізація алгоритмів автоматичного пуску та зупинки котла. Тоді навіть при спрацюванні систем захисту, котел буде запускатися в роботу швидше, ніж при ручному пуску оператором. А це відповідно приведе до меншого остигання води в котлі і меншим витратам газу на її повторний нагрів. Таким чином, модернізація існуючих алгоритмів керування котлом, які треба розробити в даній роботі, полягає в створенні алгоритмів і програм для

ПЛС, які б підвищили динамічну точність САР рівня води та забезпечили автоматичний пуск та зупинку котла.

2. РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ, СТРУКТУРНА ТА ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЙОГО КОМПОНЕНТІВ, ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ У СЕРЕДОВИЩІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання

2.1.1 Проведемо додатковий аналіз параметричної схеми технологічного процесу виробництва пари (див. рис. 1.6) для переходу від неї до структурної схеми (концептуальної моделі) об'єкта керування (ОК).

Оскільки задачу регулювання тиску пари P_p в котлі вирішує штатна автоматика пальника газу, то в подальшому будемо детально розглядати лише один вихідний експлуатаційний параметр L_w [см] – рівень води в котлі як регульовану змінну.

2.1.2 Вибір управляючих дій об'єкту керування

В параметричній схемі на рис. 1.6 є декілька вхідних дій, але до управляючої дії віднесемо: - u_2 – керуюча дія – частота обертання насоса подачі живильної води [%], яку можна технічно реалізувати і яка напряду впливає на рівень котлової води.

2.1.3. Виділення й класифікація збурень об'єкта керування

Після того, як визначені керуючі впливи, усі інші вхідні змінні з параметричної схеми попадають у розряд збурень, тобто таких впливів середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу й режими технологічного устаткування.

Проведемо апріорний аналіз збурюючих впливів за характером їх впливу на регульовану змінну:

- до шумів віднесемо ті збурення, вплив яких на регульовану змінну компенсувати зміною керуючої дії неможливо, і вони викликають високочастотні складові в регульованій змінній;

- до контрольованого збурення віднесемо зміну витрат пари F_p , бо це збурення чітко проявляється, є сильним, його можна виміряти і в подальшому використати для підвищення динамічної точності САР;

- до неконтрольованих збурень віднесемо впливи на регульовану змінну, які викликаються всіма іншими входними параметрами з рис. 1.6.

2.1.4. Складання формалізованої структурної (координатної) схеми об'єкта регулювання.

Структурна схема об'єкта керування є черговим і останнім етапом формалізації технологічного агрегату як об'єкта керування. Розробка схеми проводиться на основі результатів попередніх досліджень. Формалізована структурна (координатна) схема об'єкта регулювання представлена на рис. 2.1.

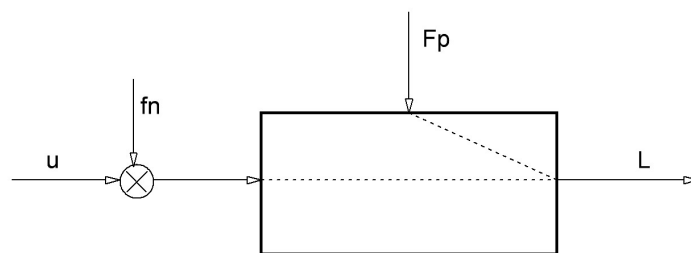


Рис.2.1. Формалізована координатна схема об'єкта регулювання

де:

L – регульована змінна - рівень котлової води [см];

u – керуюча дія [%], яка приводить до зміни витрат живильної води;

fn – неконтрольовані збурення [%];

F_p – контрольоване збурення – витрати пари [кг/год].

Як слідує з рис. 2.1, в об'єкті регулювання можна виділити два канали:

$u - L$ це канал регулювання і $F_p - L$ це канал дії контрольованого збурення.

2.2. Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта регулювання

2.2.1. Проведемо апріорний аналіз фізичної суті та когнітивне (уявне) моделювання впливу змін входних змінних каналів регулювання та контрольованого збурення на їх вихідну змінну.

По каналу регулювання $u - L$ об'єкт не має властивості до самовирівнювання, бо постійна зміна витрат живильної води F_w , яка залежить від частоти обертання насоса, а відповідно від керуючої дії u , призведе до постійної зміни рівня котлової води L . Рівень не буде змінюватись лише у одному випадку – коли витрати живильної води будуть рівними витратам пари F_p , тобто буде існувати баланс по масі.

По каналу дії контрольованого збурення $F_p - L$ об'єкт також не має властивості до самовирівнювання, бо при зміні витрат пари F_p також порушиться баланс по масі.

Таким чином, котел як об'єкт керування потребує обов'язкового регулювання рівня котлової води.

Слід відзначити, що по каналу регулювання $u-L$ динамічні властивості об'єкту керування можуть бути досліджені за результатами активного експерименту, бо керуюча дія u доступна для цілеспрямованої зміни.

Вивчення динамічних властивостей каналу дії контрольованого збурення F_p-L можна провести лише за результатами пасивного експерименту, оскільки зміни витрат пари недоступні для цілеспрямованої зміни і залежать від споживання пари багатьма незалежними споживачами в наперед невідомі проміжки часу.

2.2.2. На основі висновків про найбільш загальні властивості каналів ОР проведемо структурну ідентифікацію математичних моделей динамічних властивостей каналів регулювання та контрольованих збурень. Для цього використаємо поєднання моделей типових динамічних ланок, а саме ланки запізнення з інтегруючою (астатичною) ланкою першого порядку та ланки запізнення з інтегруючою (астатичною) ланкою другого порядку (з уповільненням):

$$W(s) = \frac{\exp(\tau \cdot s)}{T_1 s} ; \quad W(s) = \frac{\exp(\tau \cdot s)}{T_1 s (T_2 \cdot s + 1)}. \quad (2.1)$$

2.3.3 Планування активного експерименту на об'єкті для обраних вхідних дій і отримання реакцій на них у ході натурного та (або) уявного експериментів.

План активного експерименту

1. За допомогою зміни управляючої дії у домагаємося стану, коли витрати живильної води F_w будуть рівними витратам пари F_p і рівень котлової води L не буде змінюватись. При цьому бажано, щоб цей рівень був в околицях номінального значення, яке можна прийняти $L=0$. Якщо живильний насос підібраний правильно, то керуюча дія при цьому буде на рівні $u=60\%$.

2. Чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів, при яких вихідні змінні перестануть змінюватися.

3. Збільшимо керуючу дію u ступінчастим чином на 10% , відзначивши при цьому момент початку її зміни.

4. Реєструємо зміну рівня L до настання лінійного зростання.

5. Повертаємо u у вихідний стан, чекаємо закінчення перехідних процесів в каналі керування та настання нового сталого рівня.

Такий план активного експерименту проводиться на реальному ОК. В нашому випадку будемо використовувати віртуальний ОК, реалізований в програмі Simulink середовища Matlab. Оскільки процеси в реальному ОК протікають у неперервному часі і мають властивість багаторазового диференціювання, то ці процеси можна описати диференціальними рівняннями високого порядку, який априорі невідомий.

Тому для віртуального ОК по каналу керування можна обрати передатню функцію виду:

$$W(s) = \frac{\exp(\tau r \cdot s)}{Tr_1 s \cdot (Tr_2 \cdot s + 1)^n}, \quad (2.2)$$

яка буде певним чином відображати властивості реального ОК. Наприклад, оберемо в якості моделі по каналам керування віртуального ОК, модель представлену на рис. 2.2. В даному випадку $n=4$.

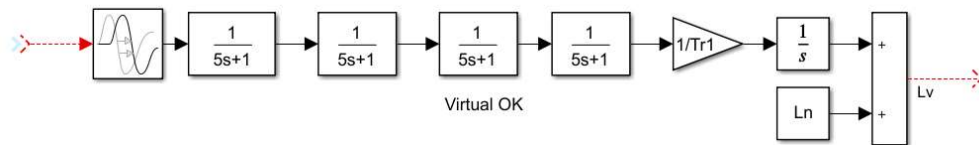


Рис. 2.2 Приклад моделі віртуального ОК по каналу U1-T1

Параметри цієї моделі визначим у m-файлі, як на рис. 2.3.



Рис. 2.3 Приклад визначення параметрів моделі віртуального ОК в m-файлі

Проведемо моделювання моделі віртуального ОК по каналу u-L для отримання перехідної характеристики на стрибок $u=60\% \rightarrow 70\%$ та на зворотній стрибок $u=70\% \rightarrow 60\%$. Схема моделювання представлена на рис. 2.4, а результати – на рис. 2.5.

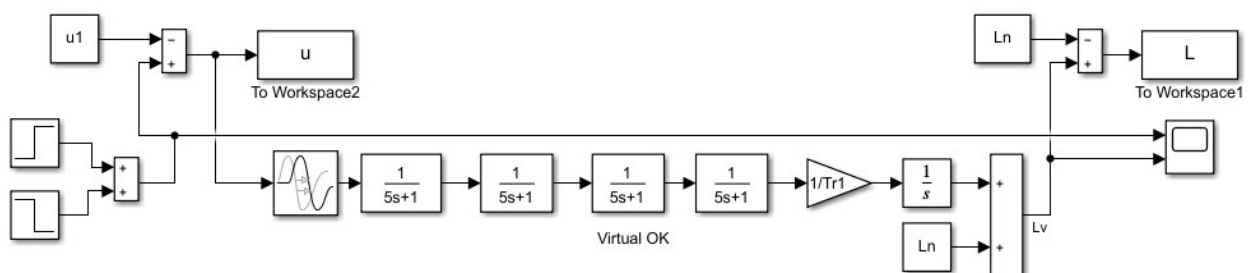


Рис. 2.4 Схема моделювання віртуального ОК по каналу u-L

Як свідчать результати, наведені на рис. 2.5, віртуального ОК по каналу u - L не має властивості до самовирівнювання, тому що при дії симетричних протилежних впливів керуючої дії u рівень L не повернувся до початкового значення, а змінився.

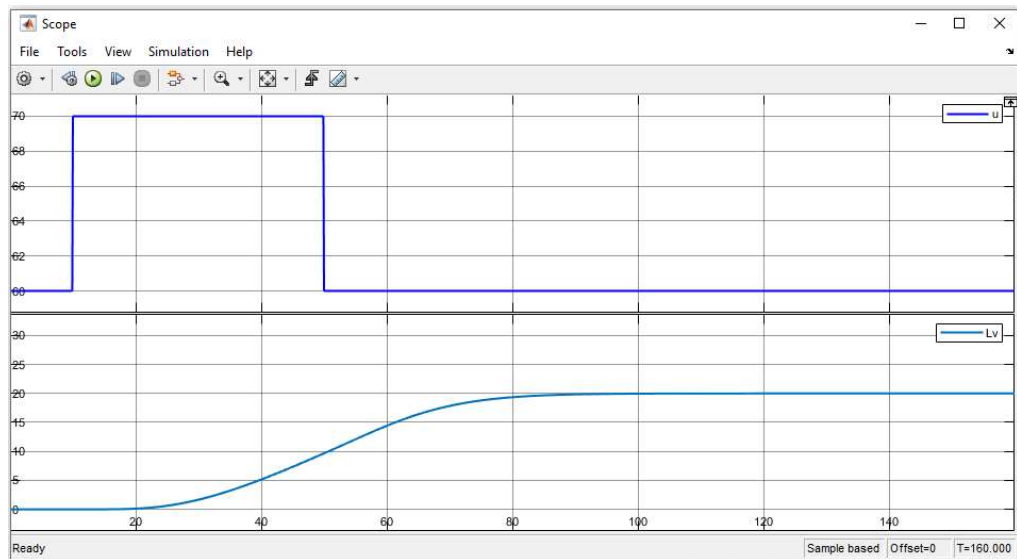


Рис. 2.5 Результати моделювання віртуального ОК по каналу u - L

Тому в подальшому модель ОК можна буде приблизно описувати залежностями (2.1).

2.3.4 Вибір методик і проведення параметричної ідентифікації моделей першого та другого порядків.

Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі астатичними властивостями (2.1) необхідно знайти сталі часу (T_1 , T_2) і час запізнення (τ).

Для ідентифікації сталих часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядку доцільно використовувати програму System Identification, кнопка виклику якого розташована на вкладці APPS Matlab. Вхідними даними для нього є файли $u(t)$, $L(t)$ із робочого середовища Workspace, які формуються в Simulink-моделі (див. рис. 2.4).

Для завантаження цих файлів в застосунок System Identification натискаємо на випадаючий список Import data і обираємо варіант Time-Domain Signals. Заповнюємо позиції у вікні Import data за прикладом рис. 2.6.

Далі у вікні System Identification у випадаючому списку Estimate обираємо варіант представлення моделей ідентифікації даних Process Models.

У вікні Process Models (див. рис. 2.7) обираємо модель ОК по каналу u-L спочатку у вигляді передатної функції 2-го порядку, діапазон зміни часу Td [0...30] сек. і натискаємо на кнопку Estimate. Обчислені значення постійних часу $T_1=1/K=1/0,05$; $T_2=Tr1=10,98$ та часу запізнення $\tau=Td=10,88$ виводяться у відповідних позиціях.

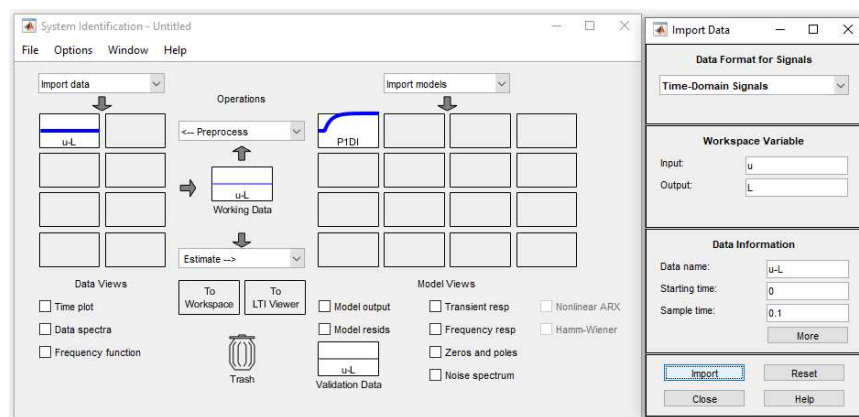


Рис. 2.6 Приклад вікна програми System Identification

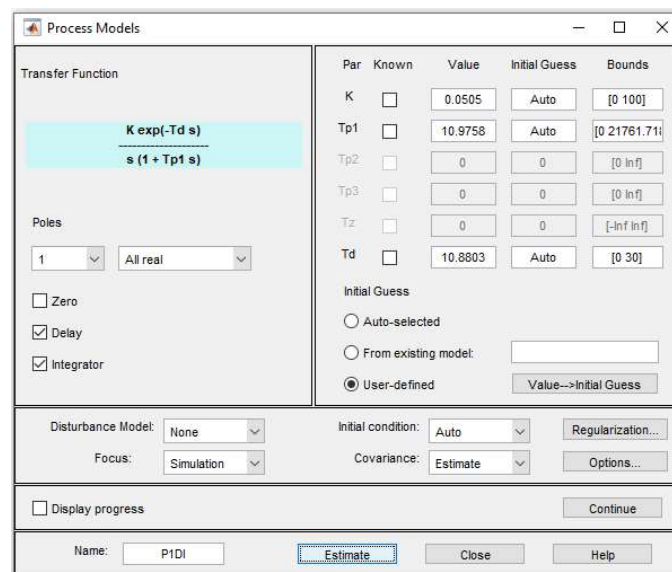


Рис. 2.7 Вигляд вікна Process Models

при ідентифікації по каналу u - L параметрів моделі (2.1) ОК 2-го порядку

Потім обираємо варіант моделі 1-го порядку і отримуємо її параметри при уже відомому значенні K : значення постійної часу $T_1=1/K=1/0,05$ та часу запізнення $\tau=T_d=20,7$.

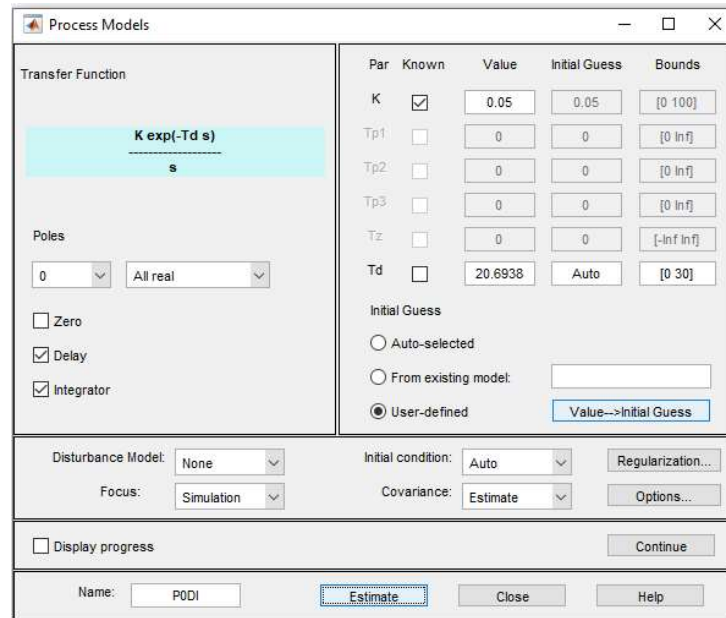


Рис. 2.8 Вигляд вікна Process Models з даними для 1-го порядку моделі (2.1) ОК по каналу $u-L$

Записуємо отримані параметри моделі ОК по каналу $u-L$ в табл. 2.1.

Табл. 2.1 Результати ідентифікації динамічних властивостей ОК

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
$u-L$	$W_{ок}^{u-L}(s) = \frac{\exp(-20,7s)}{20s}$	$W_{ок}^{u-L}(s) = \frac{\exp(-10,9s)}{(20s) \cdot (11s + 1)}$

2.3.5 Планування пасивних експериментів на об'єкті-оригіналі щодо збору інформації для структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей контрольованих збурень та каналів їх перетворення

Виходячи із фізичної суті виникнення контрольованого збурення, можна скласти наступний план проведення пасивного експерименту по визначенню

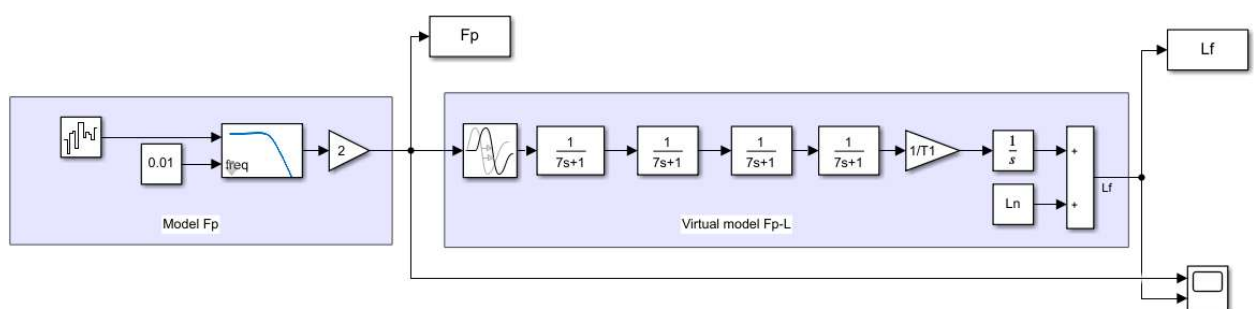
структури і параметрів його моделі:

1. Забезпечити стабільну роботу котла, не змінювати задані значення регуляторам тиску пари та рівня котлової води.

2. Переконавшись, що САР по каналам тиску пари та рівня котлової води працюють в сталих режимах, зафіксувати за допомогою логерів реалізації зміни витрат пари $F_p(t)$ та рівень котлової води $L(t)$. Час запису цих показників повинен буди достатнім для подальшої обробки та отримання статистично стійких і достовірних результатів.

3. Отримані файли $F_p(t)$, $L(t)$ передати до ПК, на якому встановлена програма System Identification середовища Matlab для подальшої ідентифікації структури та параметрів каналу контрольованого збурення.

Оскільки в нашому розпорядженні немає таких файлів, то проведемо віртуальний експеримент в програмі Simulink за наступною моделлю (див. рис. 2.9).



2.9 Схема моделювання віртуального ОК по каналу F_p-L

Для віртуального ОК по каналу контрольованого збурення обрана передатня функція виду:

$$W(s) = \frac{\exp(\tau f \cdot s)}{T_1 s \cdot (T_2 \cdot s + 1)^4}, \quad (2.3)$$

Параметри $\tau f=2$; $T_{f1}=30$; $T_{f2}=7$ відображають більшу інерційність каналу F_p-L у порівнянні із каналом керування $u-L$.

Формування контрольованого збурення F_p здійснено за допомогою

генератора псевдобілого шуму (див. рис. 2.9), вихід якого поданий на фільтр низької частоти Баттерворта, який пригнічує частоти, вищі ніж 0,01 рад/с. Це зроблено з метою створити збурення, наслідки яких в регульованій змінній САР змогла б подавляти.

Час моделювання встановимо 18000 секунд. Після запуску віртуальної моделі в робочому просторі Workspace Matlab були сформовані два файли: $F_p(t)$ і $L_f(t)$.

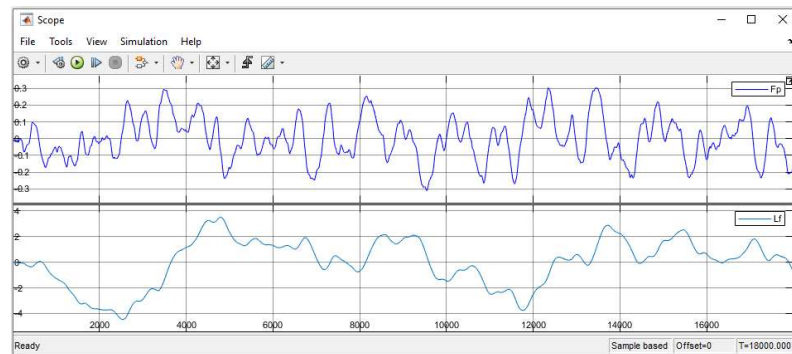


Рис. 2.10 Результати моделювання віртуального ОК по каналу Fp-L

Після завантаження цих файлів до програми System Identification, по аналогії з п.2.3.4, у випадяючому списку Estimate обираємо варіант представлення моделей ідентифікації даних Process Models.

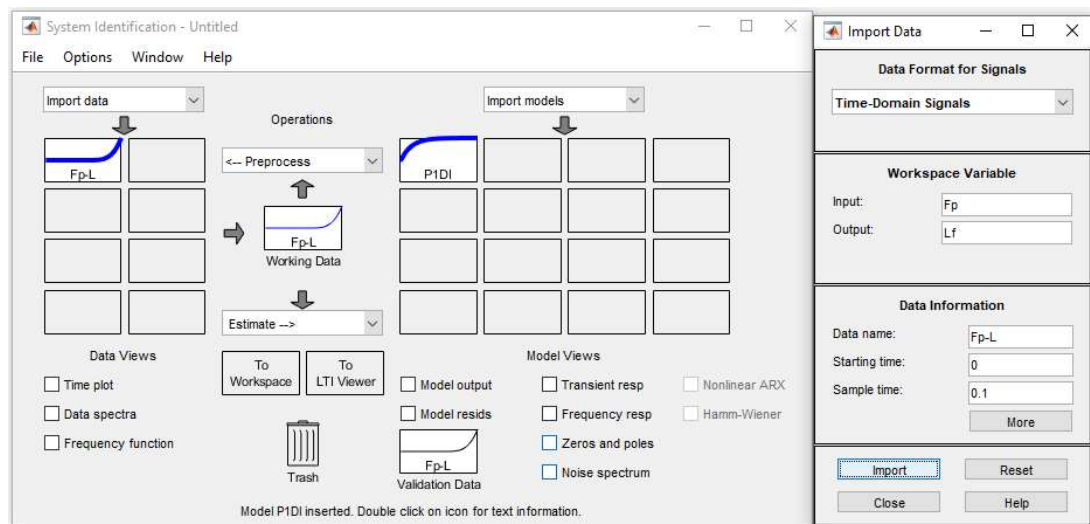


Рис. 2.11 Приклад вікна програми System Identification

Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі астатичними властивостями (2.1) необхідно знайти сталі часу (T_1 , T_2) і час запізнення (τ).

Спочатку проведемо ідентифікацію параметрів ОК по каналу Fr-L моделлю другого порядку (див. рис. 2.12).

Обчислені значення постійних часу $T_1=1/K=1/0,03$; $T_2=Tr1=28$ та часу запізнення $\tau=Td=2$ виводяться у відповідних позиціях.

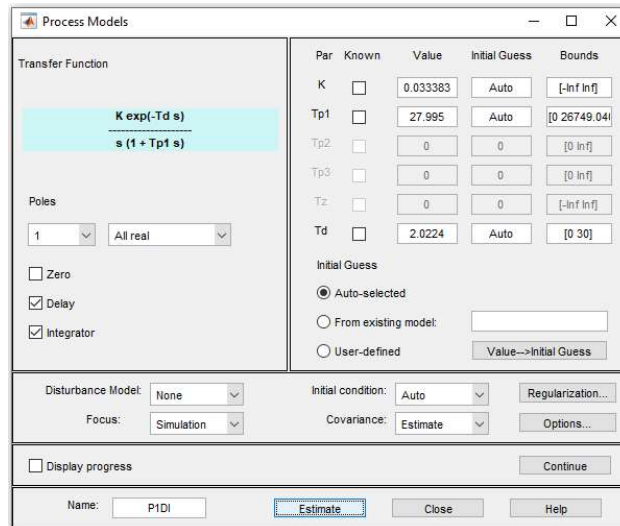


Рис. 2.12 Вигляд вікна Process Models

при ідентифікації по каналу Fr - L параметрів моделі (2.1) ОК 2-го порядку

У вікні програми System Identification після натискання на напис Model Output можна зразу ж перевірити якість ідентифікації, порівнявши графіки $L(t)$ для моделей (2.3) і (2.1) для 2-го порядку.

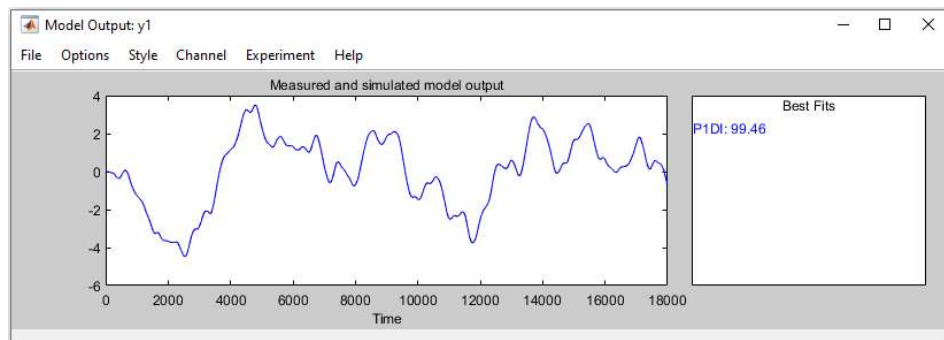


Рис. 2.13 Результати ідентифікації каналу Fr-L моделлю 2-го порядку

Потім обираємо варіант моделі (2.1) 1-го порядку і отримуємо її параметри при уже відомому значенні K: значення постійної часу $T_1=1/K=1/0,03$ та часу запізнення $\tau=Td=29$.

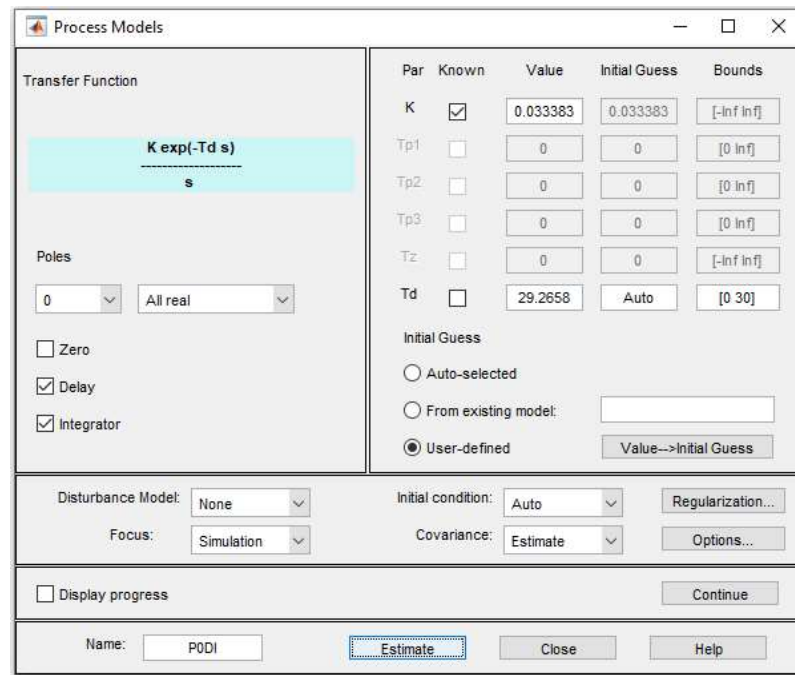


Рис. 2.14 Вигляд вікна Process Models з даними для 1-го порядку моделі (2.1) ОК по каналу Fr -L

У вікні Model Output програми System Identification отримуємо графіки $L(t)$ для моделей (2.3) і (2.1) для 1-го порядку, а також оцінку їх співпадання.

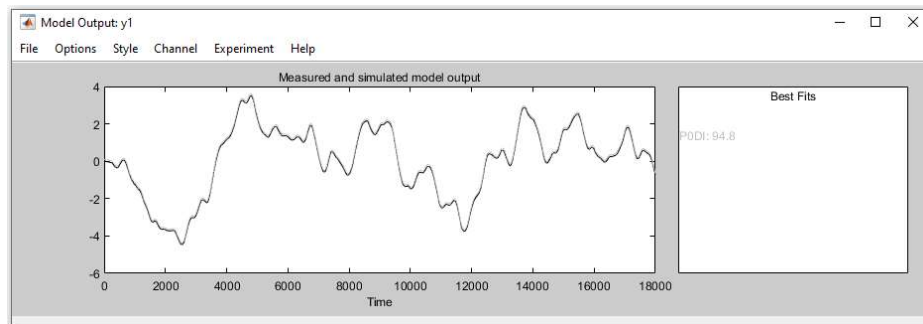


Рис. 2.15 Результати ідентифікації каналу Fr-L моделлю (2.1) 1-го порядку

Порівнюючи результати за рис. 2.13 і рис.2.15, можна дійти висновку, що модель 2-го порядку краще оцінює параметри (2.1) ОК по каналу контрольованого збурення Fr - L.

Записуємо отримані параметри моделі ОК по каналу Fr-L в табл. 2.2.

Табл. 2.2 Результати ідентифікації динамічних властивостей ОК

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
Fp-L	$W_{ок}^{Fp-L}(s) = \frac{\exp(-29s)}{30s}$	$W_{ок}^{Fp-L}(s) = \frac{\exp(-2s)}{(30s) \cdot (28s + 1)}$

2.3. Ідентифікація математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання

2.3.1 Аналіз фізичної суті, можливих діапазонів зміни та частотних властивостей вхідних дій і їх наслідків.

Слід зазначити, що неконтрольовані збурення на ОК не є чітко певними фізичними параметрами. Вони є певною математичною абстракцією, про яку відомою є лише реакція регулюваної змінної на них. Діапазон їх зміни доцільно прив'язувати до фізичного діапазону зміни керуючої дії. З теорії автоматичного керування відомо, що фізичний діапазон зміни керуючої дії лежить у межах 0...100 %х.р.о., а діапазон зміни неконтрольованих збурень може становити приблизно 10...15% від діапазону зміни керуючої дії, тобто становить приблизно 10...15 % х.р.о.

На практиці дуже часто прагнуть використовувати найбільш прості моделі детермінованої складової неконтрольованих збурень. У таких умовах в якості моделі $f_n(t)$ приймають модель ступінчастої дії, прикладеної до входу ОК. Ступінчасте збурення є одним з найбільш несприятливих з обмежених по величині дій на ОК (з погляду виникаючих у САК динамічних відхилень і тривалості виникаючих перехідних процесів).

Випадкову складову неконтрольованих збурень в даній роботі розглядати не будемо.

2.4. Реалізація математичних моделей на ПЕОМ у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту-оригіналу

2.4.1 Спочатку складемо імітаційні моделі ОК по каналу u-L та проведемо з ними експерименти з отримання перехідних характеристик. На

рис. 2.4 вже була представлена схема моделювання віртуального ОК по каналу $u-L$. Додамо до неї спрощені моделі (2.1) першого і другого порядків та зведемо їх виходи через елемент Mux на осцилограф Scope, щоб була можливість порівняти реакцію віртуального ОК по каналу $u-L$ та моделей (2.1) на однакову вхідну дію від елементів Step (див. рис. 2.16).

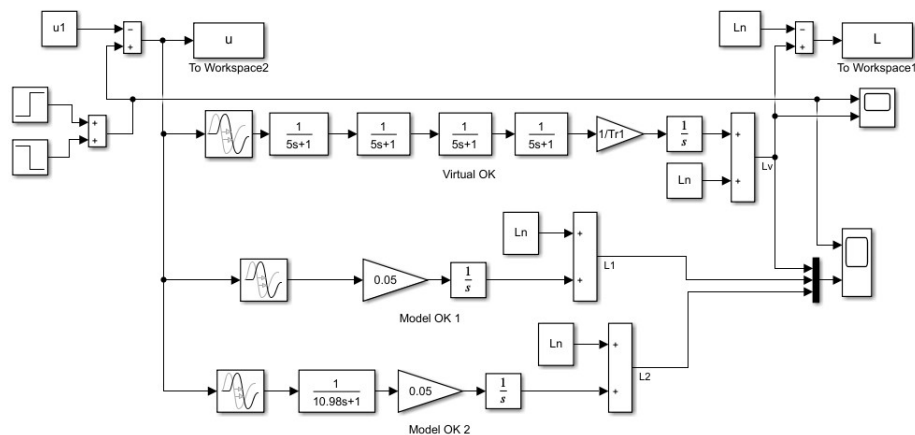


Рис. 2.16 Схема моделювання віртуального ОК по каналу $u-L$ та його спрощених варіантів

Проведемо моделювання за цією схемою. Результати моделювання представлені на рис. 2.17. Вони свідчать, що зміни у часі виходів спрощених моделей 1-го порядку $L1$ та 2-го порядку $L2$ коректно відображають реакцію виходу віртуальної моделі ОК по каналу $u-L$ на стрибкоподібні зміни вхідної дії.

Це дає підставу вважати, що моделі (2.1) адекватно описують поведінку віртуального ОК по каналу $u-L$ у часі.

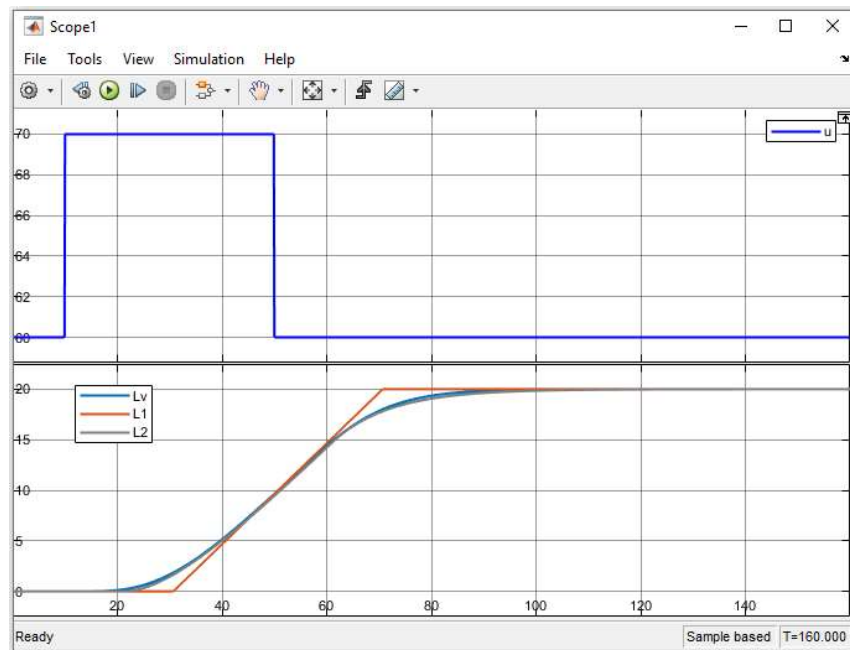


Рис. 2.17 Схема моделювання віртуального ОК по каналу u - L та його спрощених моделей (2.1)

2.4.2 Для порівняння реакції віртуальної моделі ОК по каналу F_p - L та її спрощених моделей, передатні функції яких представлені в табл. 2.2, на контрольоване збурення $F_p(t)$ випадкового характеру, складемо наступну імітаційну модель (див. рис.2.18).

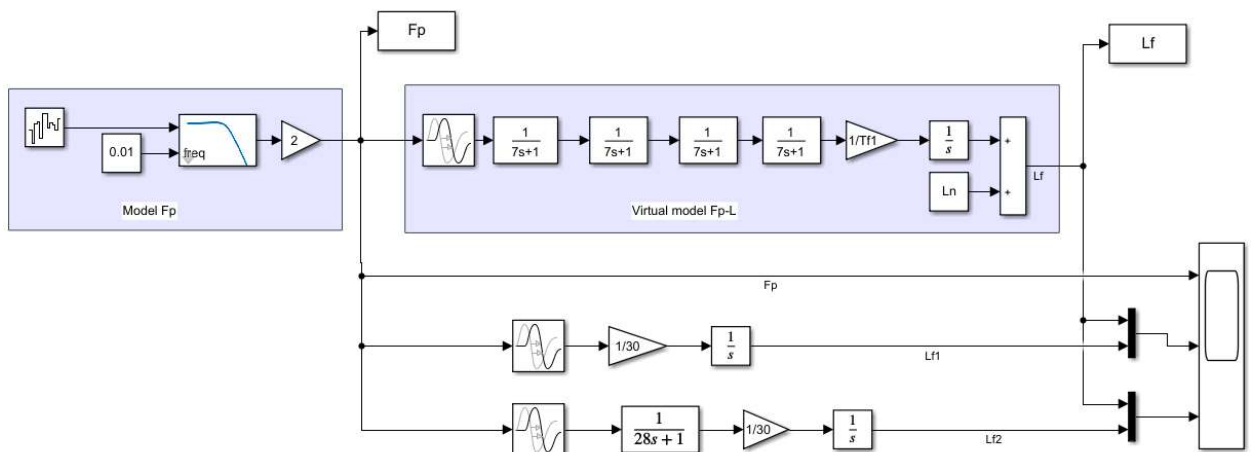


Рис. 2.18 Схема моделювання каналу контрольованого збурення ОК F_p - L

Результати моделювання за цією схемою представлені на рис. 2.19.

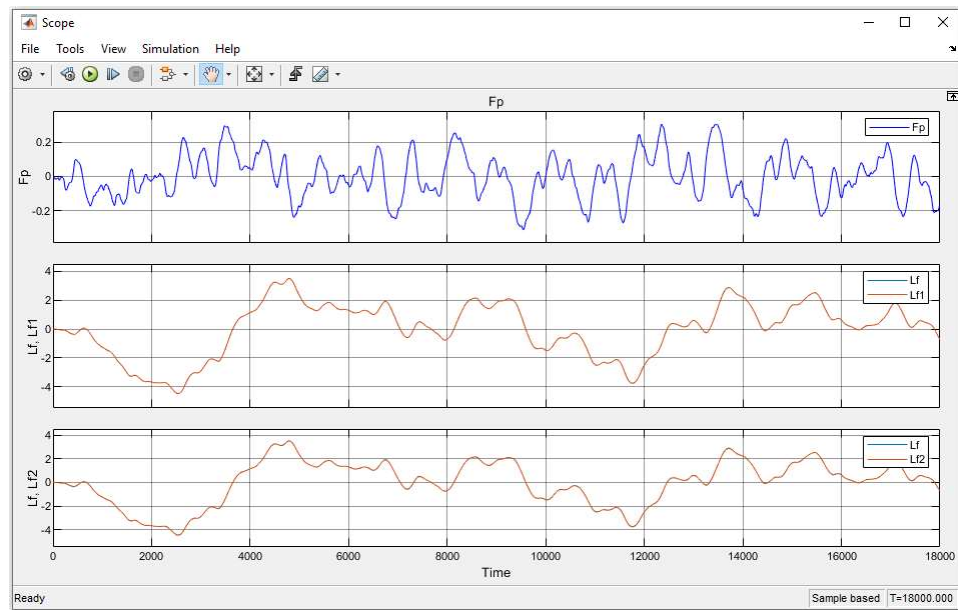


Рис. 2.19 Результати моделювання ОК по каналу контрольованого збурення

Їх аналіз показує, що реакція спрощених моделей 1-го та 2-го порядків (2.1) на дію контрольованого збурення $F_p(t)$ практично співпадає з виходом віртуальної моделі ОК по каналу F_p-L . Ці результати повністю підтверджують дані, наведені на рис. 2.13, 2.15.

В подальшому для моделювання ОК по каналу контрольованих збурень F_p-L будемо використовувати спрощену модель 1-го порядку.

2.4.3. Для отримання повної моделі ОК треба звести в одну модель імітаційні моделі, отримані в п. 2.4.1 та 2.4.2. Така модель включає канали перетворення $u-L$, F_p-L ОК та модель контрольованого збурення F_p (див. рис. 2.20).

По каналу $u-L$ застосована модель (2.1) 2-го порядку, яка точніше відтворює віртуальну модель ОК. По каналу F_p-L застосована модель (2.1) 1-го порядку, що спростить подальші розрахунки САР.

Результати моделювання повної моделі ОК наведені на рис. 2.21, 2.22.

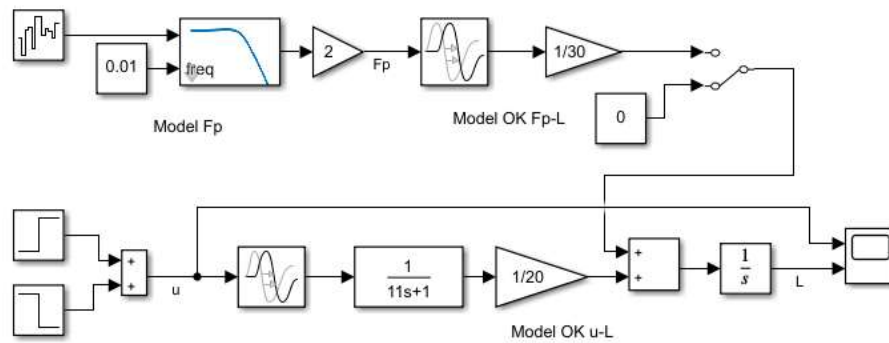


Рис. 2.20 Повна модель ОК

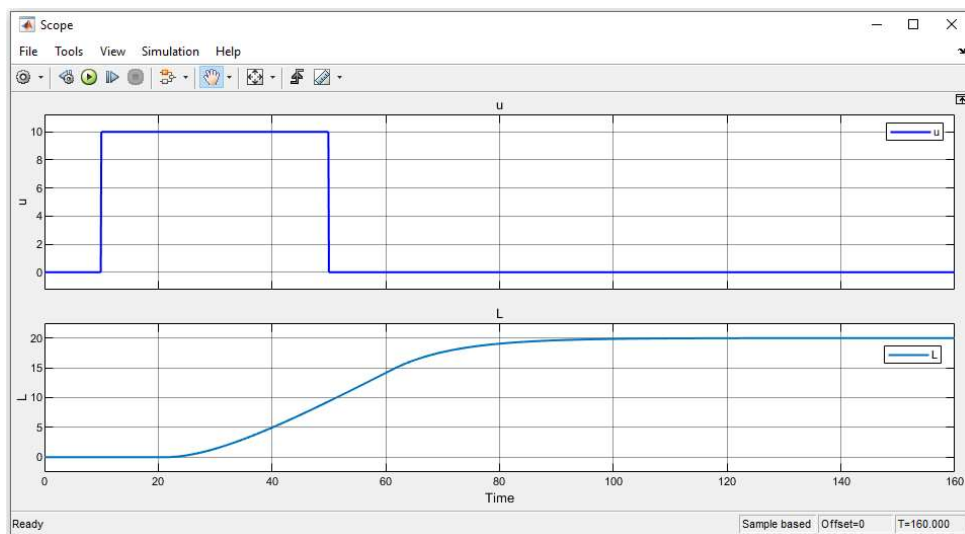


Рис. 2.21 Результати моделювання повної моделі ОК по каналу u-L

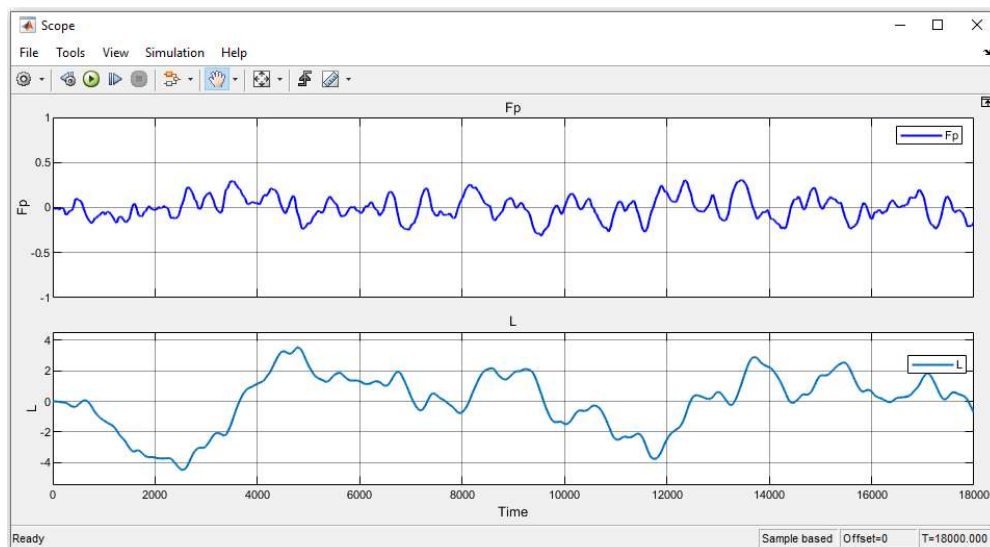


Рис. 2.22 Результати моделювання повної моделі ОК по каналу Fp-L

Повна модель ОК буде у подальшому використана при синтезі і аналізі САР.

Висновки:

У ході цієї частини роботи було встановлено, що котел як об'єкт керування має астатичні властивості. Ідентифікація моделей каналів ОК, доступних для цілеспрямованої дії, проводилася методом активного експерименту із віртуальним ОК з нанесенням на вхід каналу 10%-ї ступінчастої дії. Для параметричної ідентифікації моделей першого і другого порядку каналу управління застосовувалась програма System Identification. Ця ж програма була використана для параметричної ідентифікації моделей першого і другого порядку каналу контрольованого збурення.

Відтворення отриманих моделей у середовищі імітаційного моделювання здійснювалося в програмі SIMULINK/MATLAB і підтвердило їх адекватність експериментальним даним.

3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

3.1.1. Паровий котел як об'єкт керування можна віднести до ОК неперервної дії, тому що виробництво пари займає тривалий час, а пуски і зупинки котла проводять рідко. Регульовану змінну – рієнь котлової води $L(t)$, потрібно стабілізувати на номінальному рівні L_z , тобто для цієї змінної основною задачею керування є регулювання в околиці бажаного значення L_z із заданою точністю без фізичної участі людини.

Вимоги до статичної і динамічної точності підтримання рівня доцільно задати у вигляді регламентних зон. Відповідно до нормативів ведення технологічного процесу (див. табл. 1.1) експлуатаційний параметр $L(t)$ повинен підтримуватися у сталому режимі роботи котла на рівні $L_z=0$ см з точністю ± 3 см. В перехідних режимах припустимі короткочасні відхилення до ± 10 см протягом часу не більше 100 с. Регламентна зона за параметром $L(t)$ наведена на рис. 3.1.

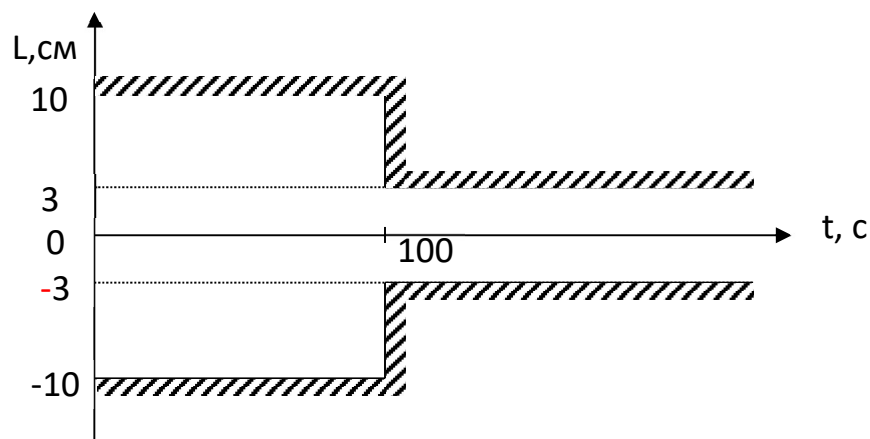


Рис. 3.1 Регламентна зона за параметром $L(t)$

Як видно з регламентів за параметром $L(t)$, для процесу виробництва пари вимоги пред'являються до відхилень параметрів як в перехідних, так і в сталих режимах, оскільки саме недотримання цих регламентів може призвести до

виникнення аварійної ситуації і економічних збитків. Тому в якості інтегрального критерію ефективності роботи САР по регулюванню рівня котлової води застосуємо інтегральний модульний критерій.

$$J = \int_0^{t_M} [(\Delta L(t))] \cdot dt \quad (3.1)$$

де t_M - час моделювання;

$\Delta L(t)$ – відхилення рівня $L(t)$ від заданого значення L_z .

Цей критерій забезпечує не лише точність стабілізації, але й стійкість САР, що важливо для астатичного ОК.

3.1.2. При виборі і обґрунтуванні принципу побудови системи автоматичного регулювання рівня котлової води врахуємо, що для САР процесу виробництва пари доступною є інформація про бажаний стан ОК, тобто L_z , а також інформація про поточний стан ОК - L . Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу u є достатнім для реалізації замкнутого принципу керування. Цей принцип дозволяє компенсувати як контрольовані F_p , так і неконтрольовані збурення f_n в САР, що актуально для регулювання рівня котлової води. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР базової структури.

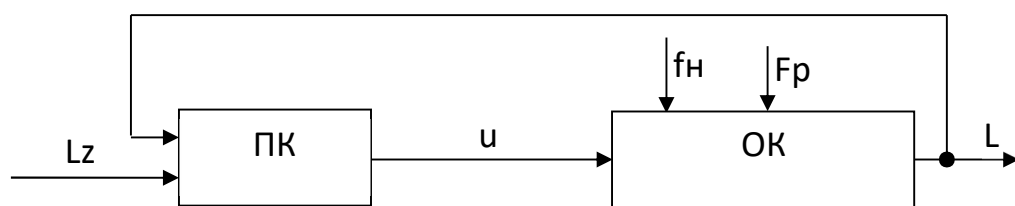


Рис. 3.2 Узагальненої структурна схема САР базової структури
з замкнутим принципом керування

3.1.3 Конкретизуємо базову структурну схему САР і можливі алгоритми регулювання.

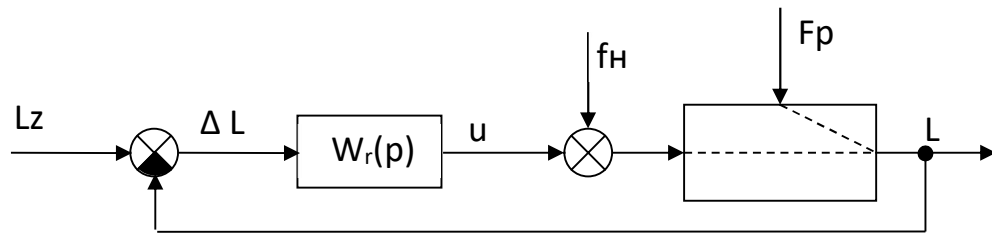


Рис. 3.3 – Структурна схема САР рівня котлової води базової структури:

$W_r(p)$ – передатна функція регулятора рівня;

L_z – задане значення регульованої змінної;

ΔL – помилка регулювання;

u – керуюча дія регулятора;

f_n – неконтрольовані збурення;

F_p - контрольоване збурення;

L – регульована змінна.

Зробимо вибір декількох альтернативних варіантів типових алгоритмів регулювання, запишемо їх рівняння і передатні функції.

У інженерній практиці при управлінні технологічними процесами у більшості випадків використовують типові алгоритми регулювання або регулятори. До них відноситься пропорційний (П), пропорційно-інтегральний (ПІ), і пропорційно -інтегрально - диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання. Для цих алгоритмів розроблені інженерні методики їх налагодження.

Для процесу виробництва пари в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання вибираємо пропорційно - інтегральний (ПІ) і пропорційно - інтегрально - диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

$$u(t) = kr \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{iz}} \int_0^t \Delta y(t) dt \right) + u_0$$

Передатна функція ПІ-регулятора

$$W_r(p) = kr \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{iz} \cdot p}\right)$$

Рівняння руху ПІД-регулятора

$$u(t) = kr \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{iz}} \int_0^t \Delta y(t) dt + T_{pr} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0$$

Передатна функція ПІД-регулятора

$$W_r(p) = kr \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{iz} \cdot p} + T_{pr} \cdot p\right)$$

Налагоджувальні параметри, які підлягають визначенню за інженерними методиками наступні:

kr – коефіцієнт передачі регулятора;

T_{iz} – час ізодрому;

T_{pr} – час упередження.

3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

3.2.1 Розрахуємо початкові наближення налагоджувальних параметрів регуляторів. Для цього скористаємося методикою Копеловіча А.П. Обираємо варіант коливального перехідного процесу в САР з $R_{\pi} = 20\%$ та параметри астатичного ОК по каналу $u-L$ для моделі 1-го порядку: $\tau_o = 20,7$ с; $T_o = 20$ %с/см.

Розрахунок параметрів ПІ-регулятора для каналу « $u - L$ »:

$$kr = \frac{0,7 \cdot T_o}{\tau_o} = \frac{0,7 \cdot 20}{20,7} = 0,67 \frac{\% \text{хро}}{\text{см}}$$

$$T_{iz} = 4 \cdot \tau_o = 4 \cdot 20,7 = 83 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПІД-регулятора для каналу « $u - L$ »:

$$kr = \frac{1,1 \cdot T_o}{\tau_o} = \frac{1,1 \cdot 20}{20,7} = 1 \frac{\% \text{хро}}{\text{см}}$$

$$T_{iz} = 2 \cdot \tau_o = 2 \cdot 20,7 = 41 \text{ с}$$

$$T_{pr} = 0,5 \cdot \tau_o = 0,5 \cdot 20,7 = 10 \text{ с}$$

3.2.2. Розробляємо структурні схеми і програми цифрового імітаційного моделювання САР при детермінованих вхідних впливах, проводимо комп'ютерні експерименти з оптимізації параметрів регуляторів та оцінюємо результати моделювання.

Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором, яка складена в програмі Simulink, приведена на рис. 3.4.

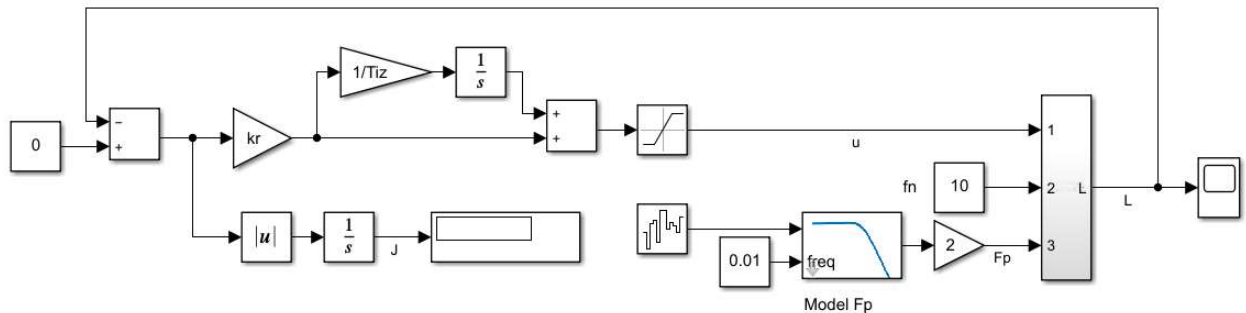


Рис. 3.4 Структурна схема моделювання САР с ПІ-регулятором

Вона включає до свого складу схему моделювання об'єкту керування.

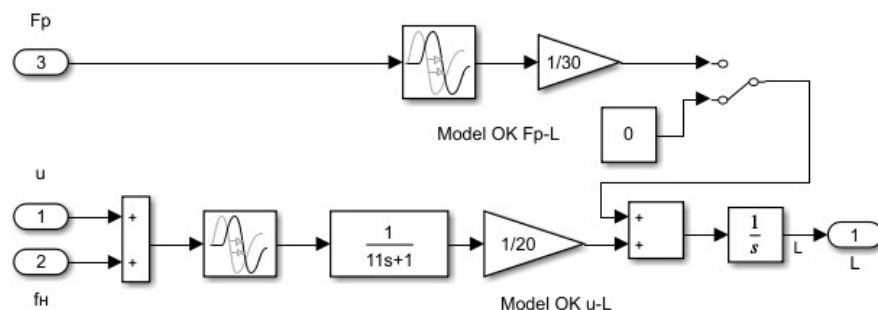


Рис. 3.5 Структурна схема моделювання ОК

Результати моделювання САР з ПІ-регулятором з початковими наближеннями його параметрів при дії на ОК детермінованого неконтрольованого збурення $f_n=0 \rightarrow 10\%$ наведені на рис. 3.8а.

Далі проводимо пошук оптимальних параметрів ПІ-регулятора, які мінімізують критерій (3.1). Для виконання цього кроку скористаємося

застосунком Response Optimazer, кнопка виклику якого знаходиться на вкладці APPS Simulink (див. рис.3.6).

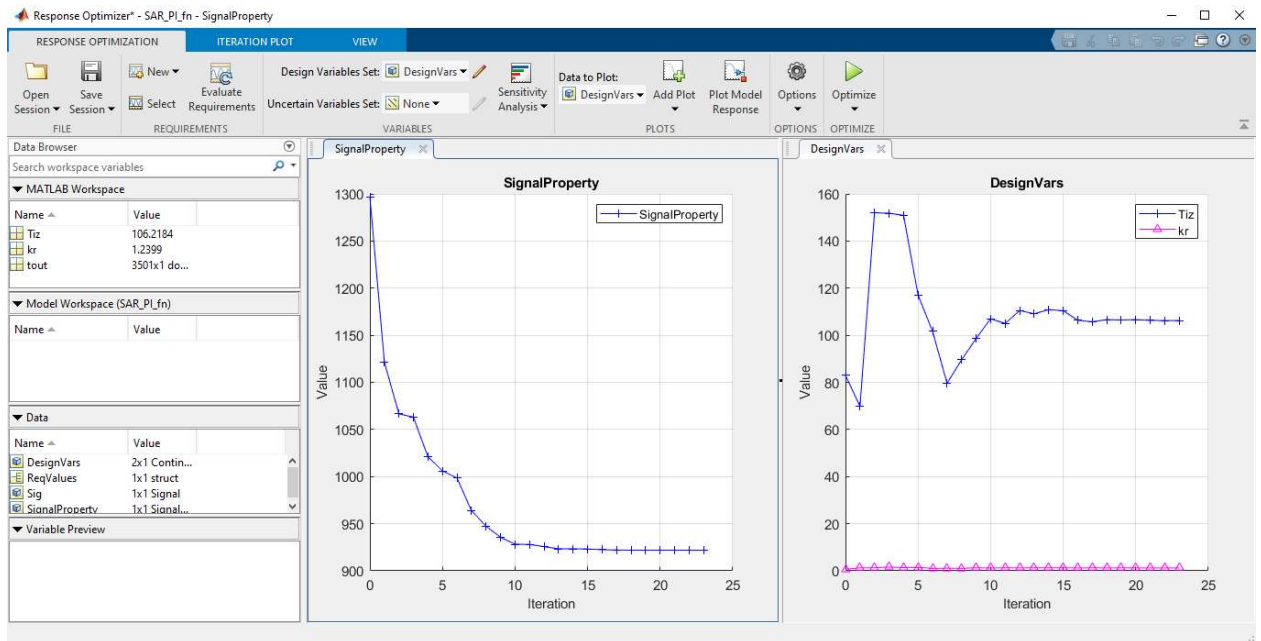


Рис.3.6 – Вигляд вікна оптимізації налаштувань ПІ – регулятора

Перед запуском оптимізації, треба налаштувати параметри сигналу критерія оптимізації у вікні, що з'являється при натисканні на кнопку New (див. рис.3.7а), а також обирати параметри регулятора у вікні, що з'являється при натисканні на випадяючому списку Design Variables Set (див. рис. 3.7б).

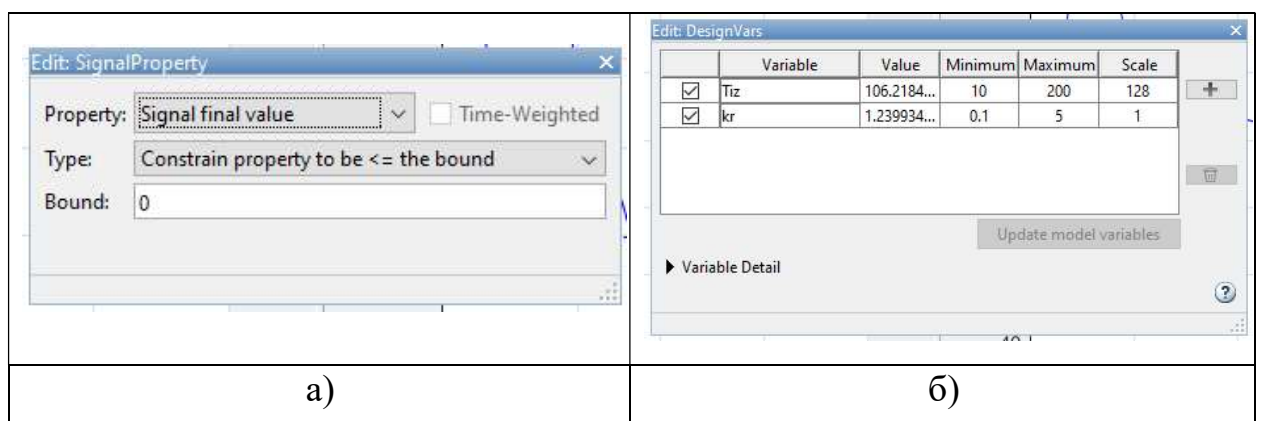


Рис. 3.7 Вибір параметрів оптимізації:

а) критерія; б) налаштувань регулятора

Отримавши оптимальні параметри ПІ-регулятора $k_I=1,24 \text{ \%}/\text{см}$ $T_{iz}=108,2\text{с}$, повторно проведемо моделювання САР. Результати моделювання наведені на рис. 3.8б.

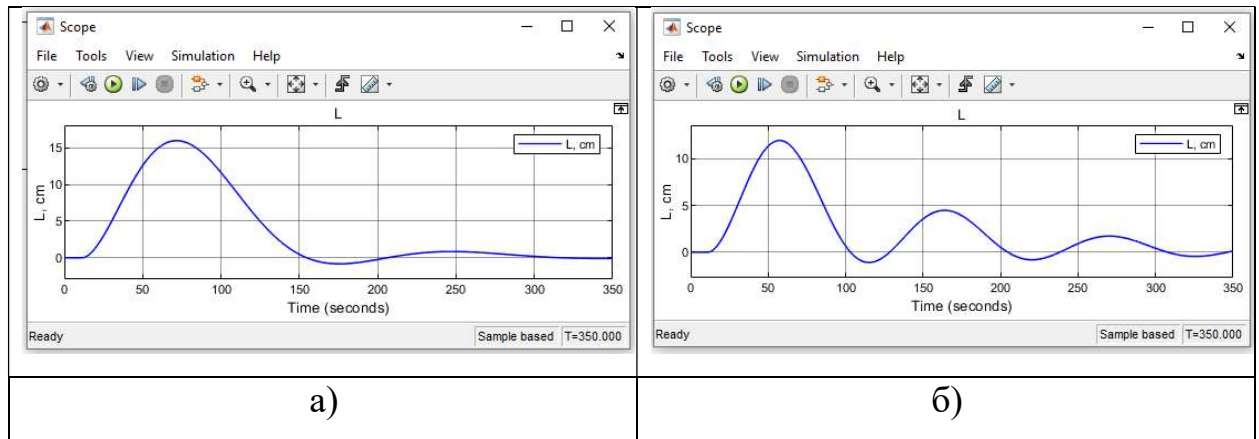


Рис. 3.8 Перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

Таблиця 3.1

Результати порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники		
	$\Delta L_{\max}$	$T_{пп}, \text{с}$	Критерій
До оптимізації	16	130	1297
Після оптимізації	12	182	922

Для оптимального параметричного синтезу САР процесу виробництва пари з ПІД – регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис.3.9.

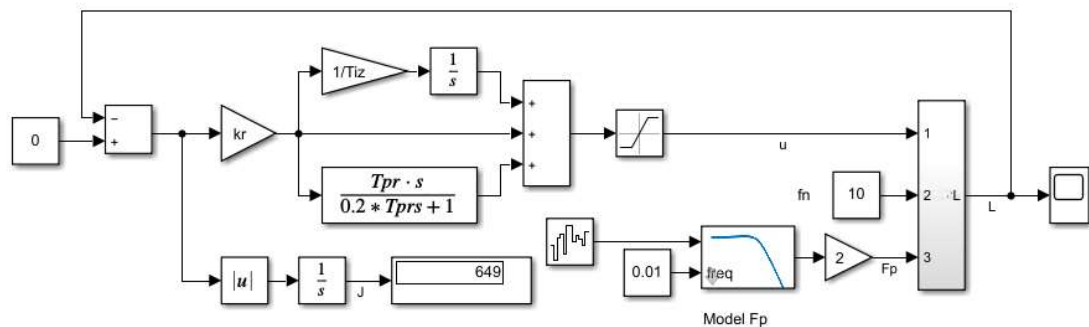


Рис. 3.9 Структурна схема моделювання САР с ПІД-регулятором

Результати моделювання САР з ПІД-регулятором з початковими наближеннями його параметрів при дії на ОК детермінованого неконтрольованого збурення $f_n=0 \rightarrow 10\%$ наведені на рис. 3.11а.

Далі проводимо пошук оптимальних параметрів ПІД-регулятора, які мінімізують критерій (3.1). Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведено на рис.3.10.

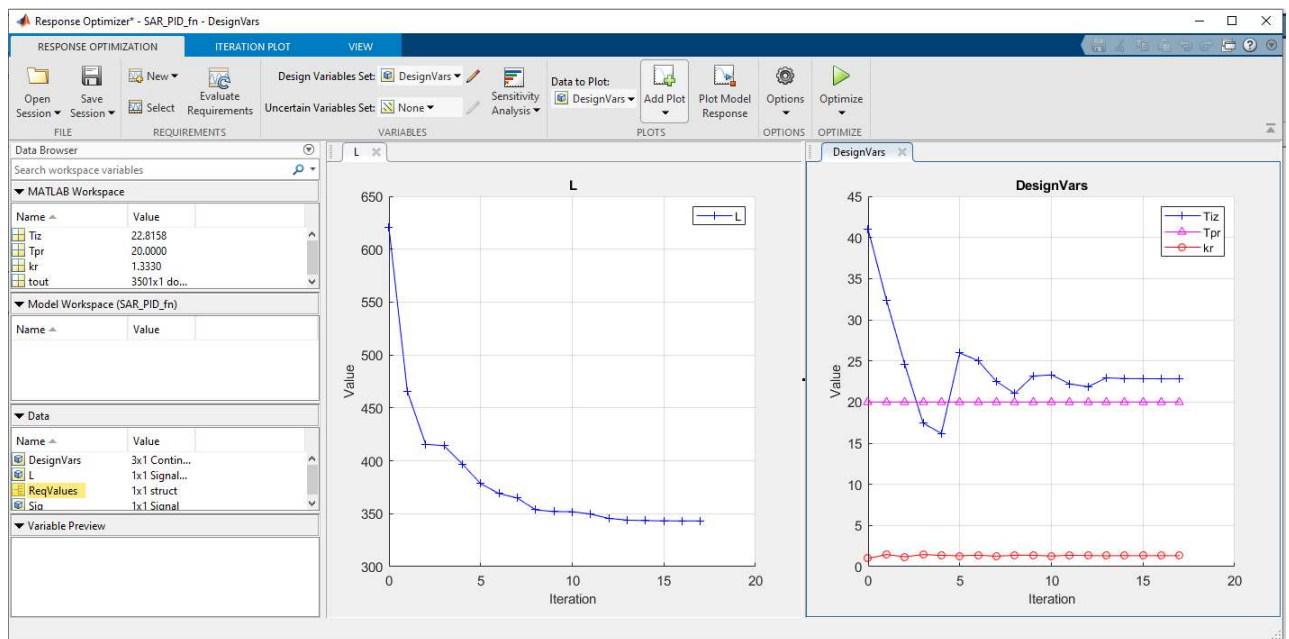


Рис.3.10 – Результат оптимізації налаштувань ПІД – регулятора

Отримавши оптимальні параметри ПІД-регулятора $kr=1,33 \text{ \%}/\text{см}$ $Tiz=22,8\text{с}$, $Tpr=20,0 \text{ с}$ повторно проведемо моделювання САР. Результати моделювання наведені на рис. 3.11б.

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямим показниками якості. Результати порівняння зведені в таблицю 3.2.

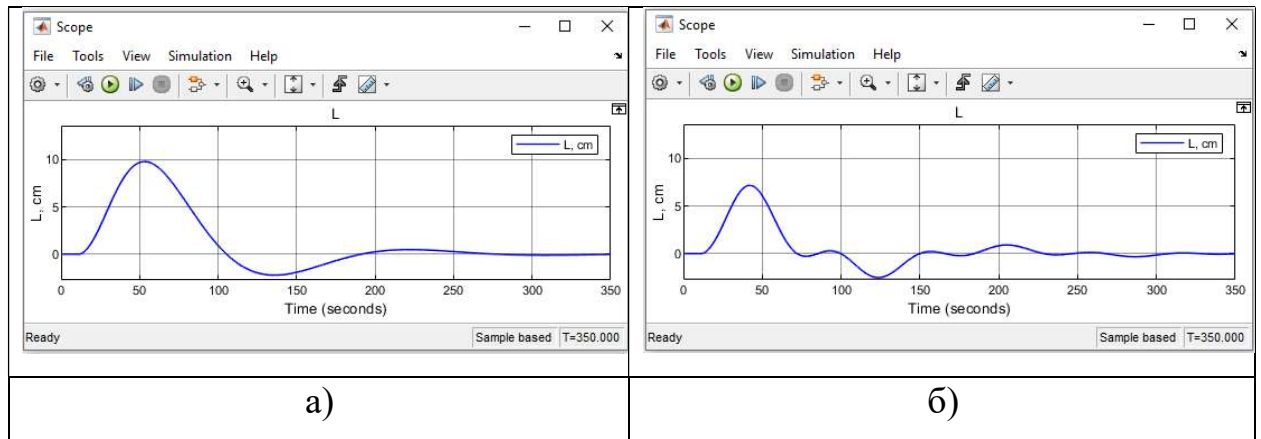


Рис. 3.11 Перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації

Таблиця 3.2

Результати порівняння САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники		
	$\Delta L_{\max}$	$T_{пп}, c$	Критерій
До оптимізації	9,8	90	649
Після оптимізації	7,2	58	343

Для проведення порівняльного аналізу САР з оптимально налаштованими ПІ- і ПІД-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.12. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.13 і в таблиці 3.3.

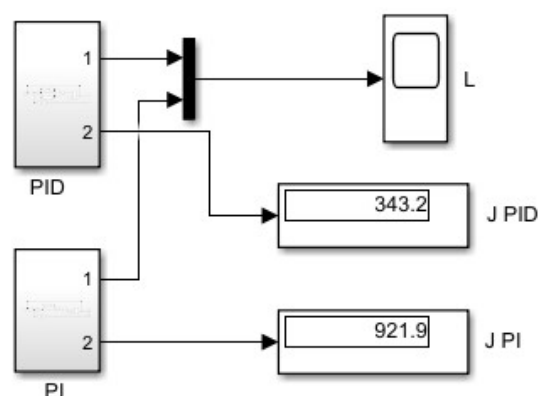


Рис. 3.12 Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР.

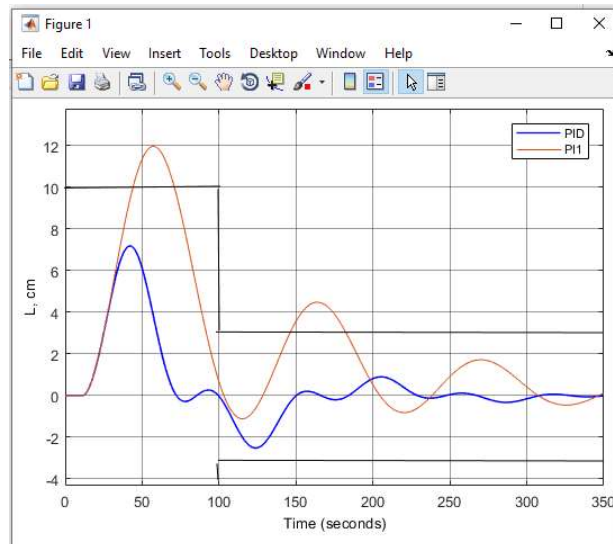


Рис. 3.13 Результати порівняння варіантів САР з ПІ- та ПІД регуляторами

Таблиця 3.3 Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники		
	$\Delta L_{\max}$	Т _{пп} , с	Критерій
ПІ	12,0	182	922
ПІД	7,2	58	343

Як видно з рис. 3.13 та табл. 3.3, САР з ПІД регулятором має кращі показники якості, ніж САР з ПІ-регулятором.

3.2.3. Проаналізуємо грубість САР до варіацій параметрів ОК. Слід зазначити, що внаслідок нестационарності ОК, параметри каналів, наприклад, запізнення, можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. Це може бути викликано, наприклад, відкладанням солей на трубах подачі води, сажі на трубах, по яким рухаються гарячі гази.

Дослідження САР на грубість будемо проводити з імітаційними моделями в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень 10% х.р.о. Структурна схеми моделювання для аналізу САР з ПІД-регуляторами на грубість наведено на рис. 3.14.

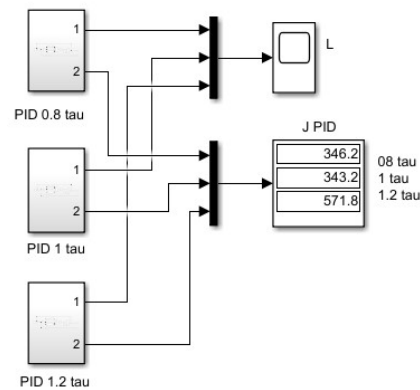


Рис. 3.14 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІД-регулятором на грубість.

Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на грубість наведено на рис. 3.15. Як видно з результатів, САР з ПІД-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації запізнення в каналах регулювання ОК дає згасаючі перехідні процеси.

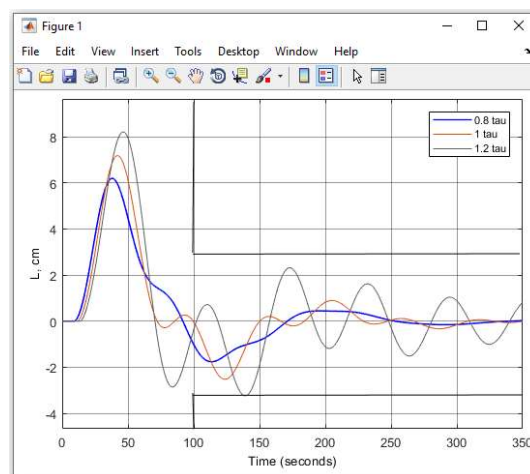


Рис. 3.15 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором в умови дії детермінованих неконтрольованих збурень

Як видно з рис. 3.15, в умовах дії збурень $f_n(t)$ детермінованого характеру перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором не виходять за рамки регламентних зон.

3.2.4. Проведемо дослідження впливу контрольованого збурення $F_p(t)$ на регульовану змінну в САР з ПІ- і ПІД регулятором (рис. 2.16). Для цього встановлюємо нульове значення неконтрольованих збурень f_n і перемикаємо ключ в моделі ОК, як показано на рис. 3.18.

Результати моделювання представлені на рис. 3.19 при формуванні $F_p(t)$ фільтром НЧ з частотою зрізу $f_z=0,01$ рад/с, а також на рис. 3.20, коли частота зрізу ФНЧ була встановлена $f_z=0,05$ рад/с.

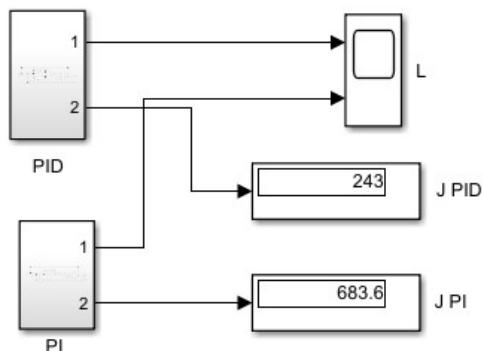


Рис. 2.16 Схема моделювання САР з ПІ- і ПІД регуляторами при дії контрольованого збурення

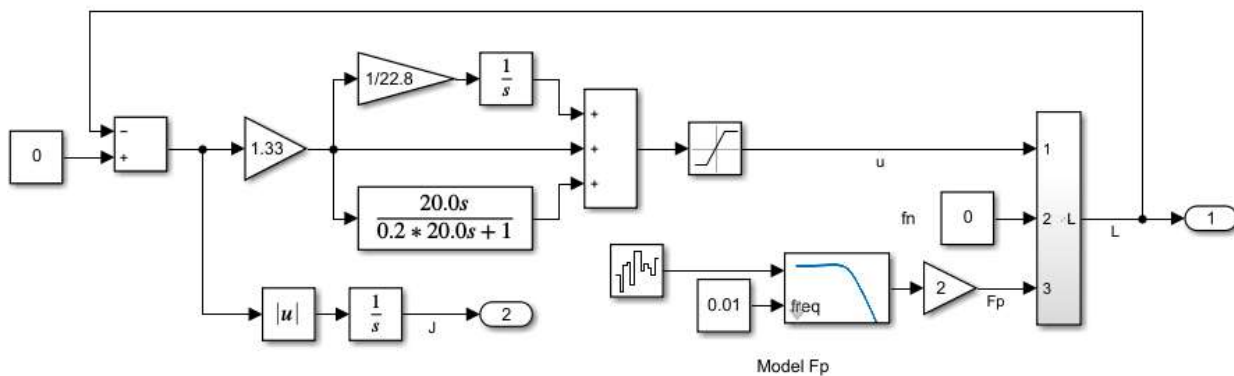


Рис. 3.17 Схема моделі САР з ПІД-регулятором при дії контрольованих збурень $F_p(t)$

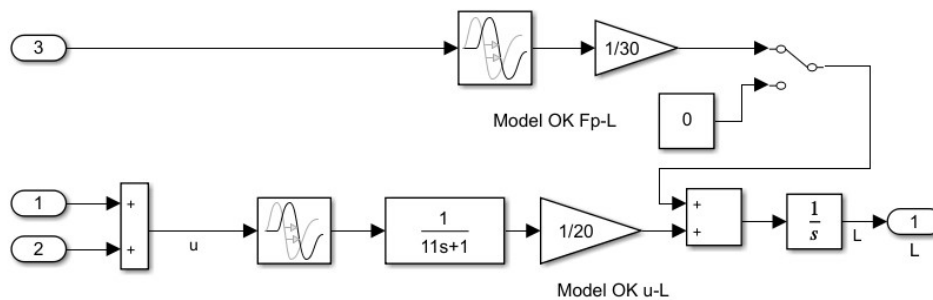


Рис. 3.18 Схема моделі ОК при дії контрольованих збурень $F_p(t)$

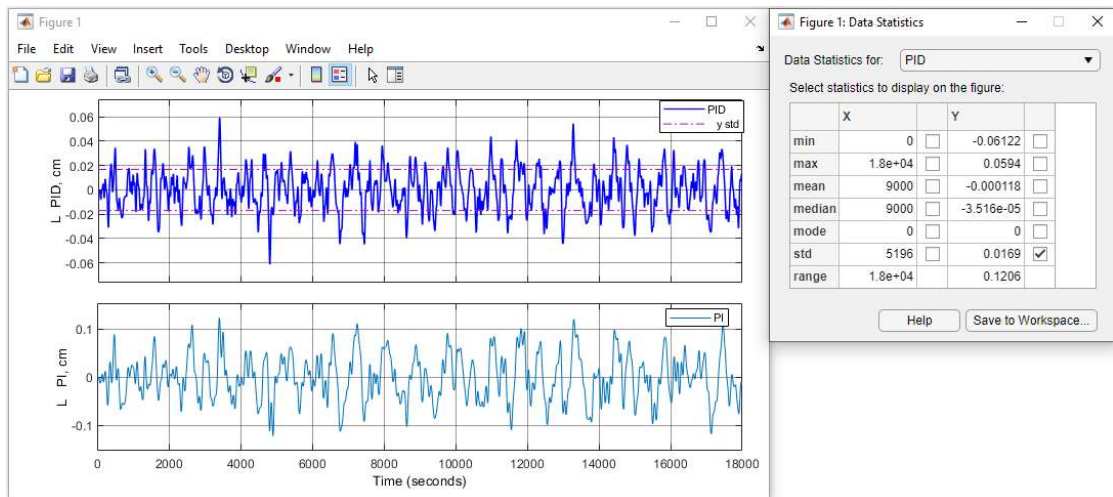


Рис. 3.19 Результати моделювання САР при формуванні $F_p(t)$
фільтром НЧ з частотою зрізу $f_z=0,01$ рад/с

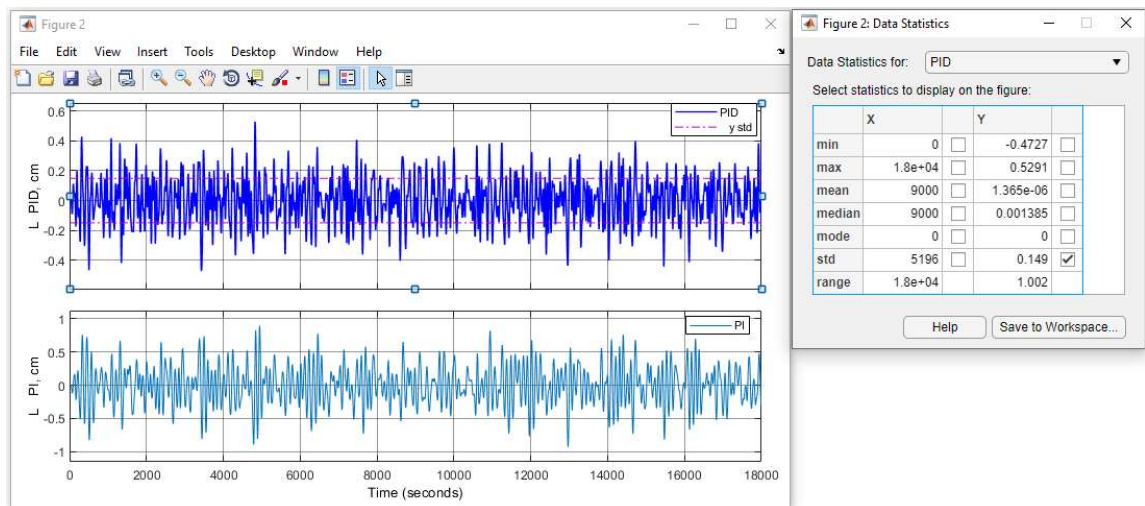


Рис. 3.20 Результати моделювання САР при формуванні $F_p(t)$
фільтром НЧ з частотою зрізу $f_z=0,05$ рад/с

Як видно з рисунків 3.19, 3.20, САР на частоті зрізу $f_z=0,01$ рад/с ефективно подавляє вплив контрольованого збурення $F_p(t)$ на регульовану змінну $L(t)$, а вже на частоті зрізу $f_z=0,05$ рад/с статистичні показники середньоквадратичного відхилення std значно погіршуються - з $std=0,0169$ до $std=0,149$. Щоб з'ясувати причину цього погіршення, визначимо діапазон частот, в якому САР здатна компенсувати вплив збурень на регульовану змінну за рахунок зміни керуючої дії $u(t)$. Для визначення цього діапазону зберемо в програмі Simulink скориговану схему ОК (рис. 3.21).

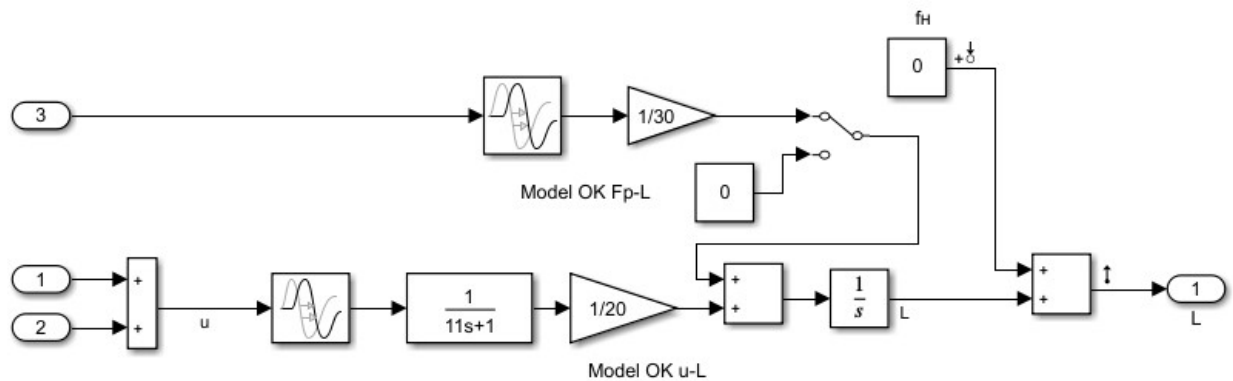


Рис. 3.21 Схема моделі ОК для визначення АЧХ і ФЧХ
САР по каналу u-L

Виділимо за допомогою миші на цій схемі сигнал f_n , натиснемо праву клавішу і оберемо із списку пункт Linear Analyses Points тип цього сигналу як Input Perturbation. Далі аналогічно визначим тип сигналу L з виходу моделі ОК, як Output Measurement. Після цього на вкладці APPS програми Simulink натиснемо на кнопку Frequency Response.

У вікні, що з'являється при цьому, вибираємо тестовий сигнал у вигляді синусоїди із змінною частотою і формуємо його параметри (див. рис. 3.22, 3.23).

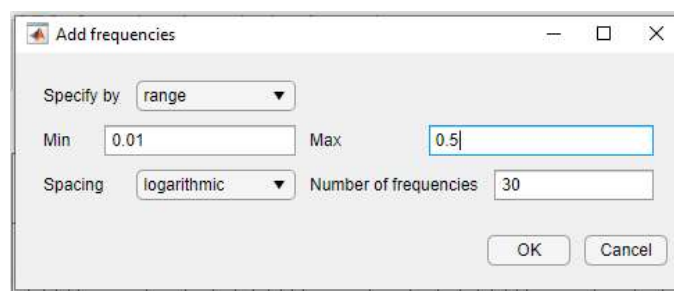


Рис. 3.22 Приклад вибору діапазону частот тестового сигналу

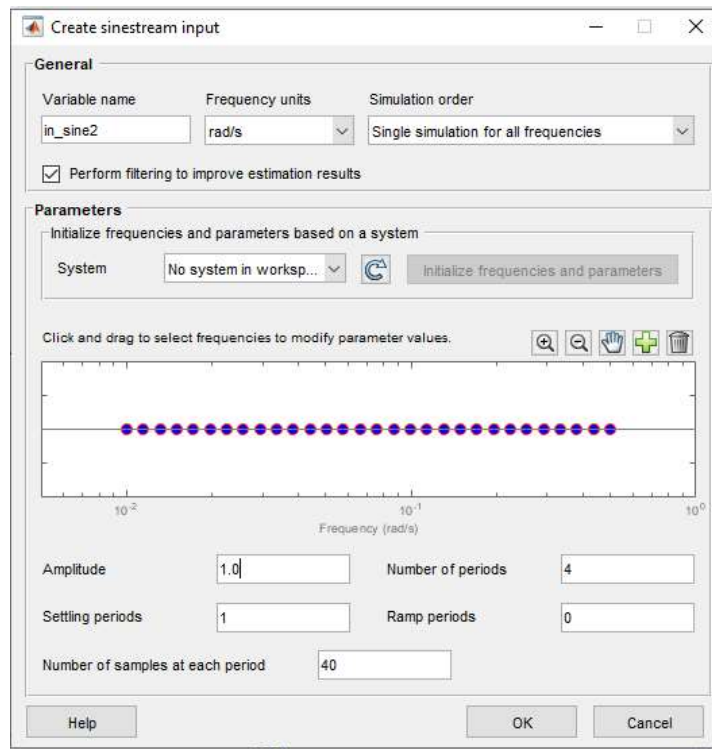


Рис. 3.23 Приклад вибору параметрів тестового сигналу

Після формування тестового сигналу натискаємо на кнопку Bode у вікні програми Frequency Response і отримуємо АЧХ і ФЧХ каналу u-L для САР з ПД-регулятором.

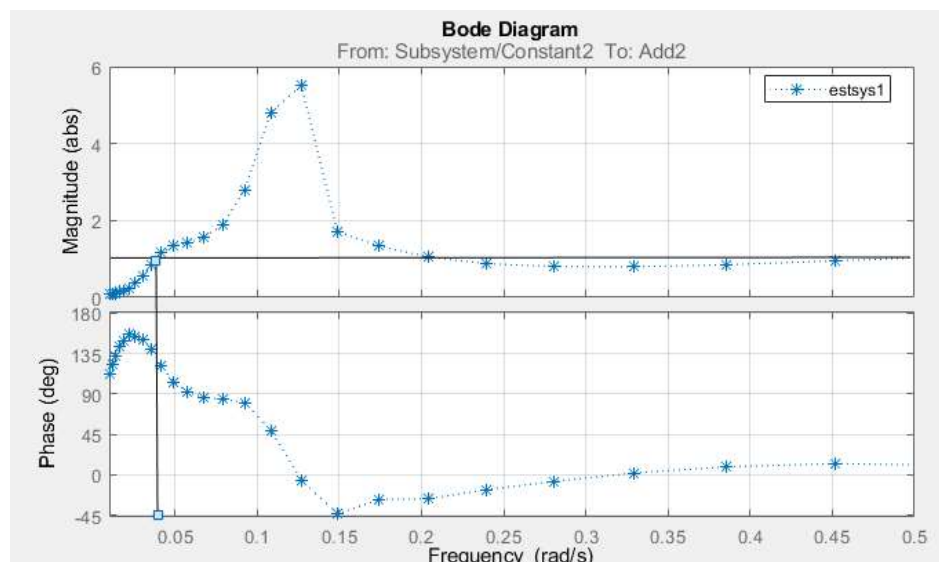


Рис. 3.24 Результат моделювання САР з ПД регулятором в програмі Frequency Response – залежності АЧХ і ФЧХ

З рис. 3.24 видно, що САР з ПІД-регулятором здатна подавляти вплив збурень на регульовану змінну $L(t)$ лише в діапазоні $0 \dots 0,04$ рад/с, коли коефіцієнт в передачі керуючої дії $u(t)$ на $L(t)$ менший за одиницю.

Таким чином, можна зробити висновок, що формування контрольованого збурення $F_p(t)$ за допомогою ФНЧ з частотою зрізу $f_z=0,01$ рад/с зроблено коректно, адже ця частота потрапляє в робочий діапазон частот ПІД-регулятора. А вже на частоті зрізу $f_z=0,05$ рад/с регулятор не здатен подавляти вплив зовнішніх збурень, коефіцієнт в передачі керуючої дії $u(t)$ на $L(t)$ більший за одиницю.

3.3. Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз

3.3.1. Розглянемо роботу САР з ПІД регулятором при несприятливих умовах, коли на ОК діють одночасно неконтрольовані збурення 10% хро та контрольовані збурення $F_p=90 \rightarrow 80$ г/с (див. рис. 3.25).

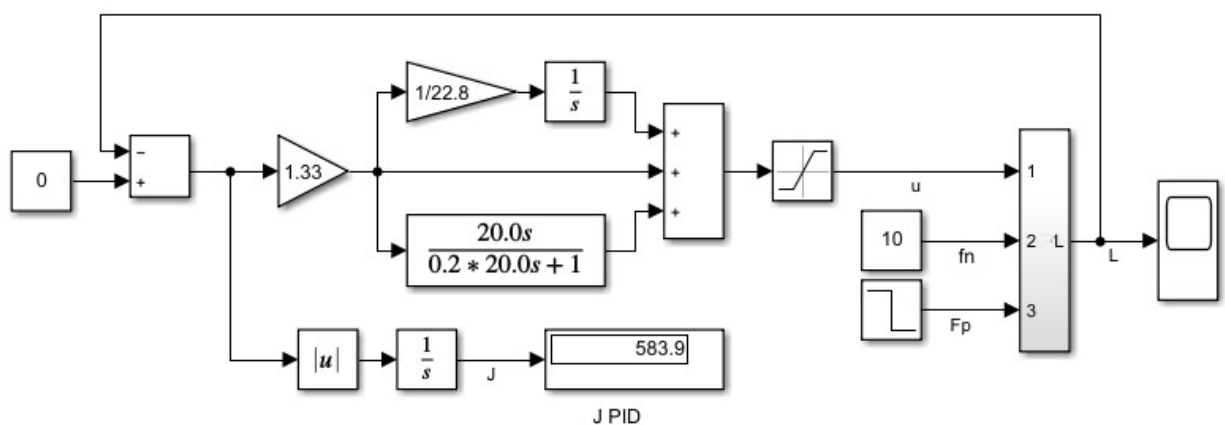


Рис. 3.25 Структурна схема моделі САР при одночасній дії зовнішніх збурень

В результаті регульована змінна $L(t)$ в САР виходить за межі регламентної зони (рис. 3.26).

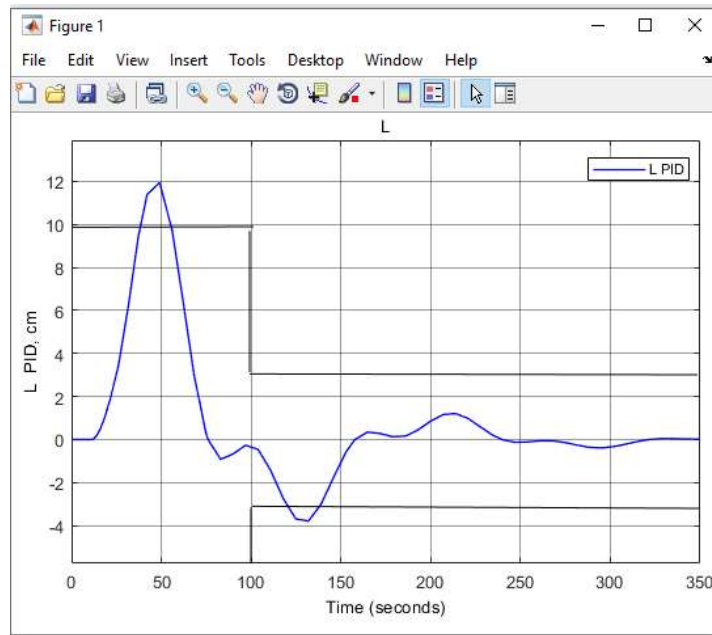


Рис.3.26 Результати моделювання САР при одночасній дії зовнішніх збурень

Таким чином постає задача створення САР підвищеної динамічної точності.

3.3.2. В загальному випадку причинами недостатньої точності САР можуть бути наступні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивна зміна завдання САР, а також внутрішні особливості ОК і САР (значне співвідношення τ_o / T_o , взаємний вплив каналів в багатомірній САР).

В даному випадку, як видно з рис. 3.26, погіршення роботи САР базової структури відбувається через дію на регульовану змінну $L(t)$ контрольованого збурення у вигляді зміни витрат пари $F_p(t)$.

Відповідно до принципу Петрова, для забезпечення інваріантності $L(t)$ від впливу $F_p(t)$, вводиться додатковий канал передачі впливу (рис. 3.27).

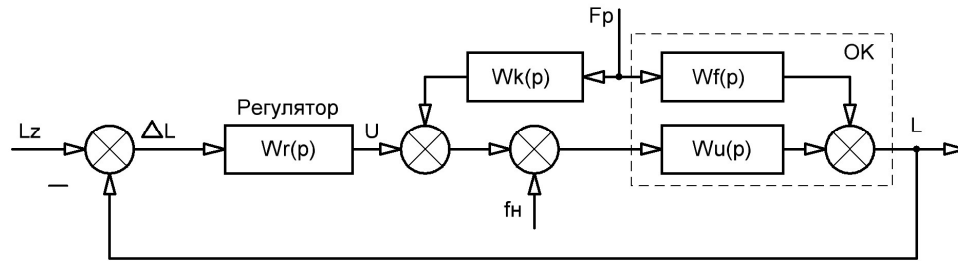


Рис. 3.27 – Структурна схема САР підвищеної динамічної точності

На схемі:

L_z – задане значення регульованої координати, см;

L – поточне значення регульованої координати, см;

F_p – контрольоване збурення, г/с;

ΔL – помилка регулювання, см;

u – керуюча дія, %х.р.о.;

f_n – неконтрольовані збурення;

$W_r(p)$ – передатна функція регулятора;

$W_k(p)$ – передатна функція коригуючого зв'язку;

$W_u(p)$ – передатна функція ОК по каналу керування;

$W_f(p)$ – передатна функція ОК по каналу контрольованого збурення.

$W_r(p)$ – передатна функція регулятора.

Необхідною умовою реалізації САР є фізична можливість організації додаткового каналу впливу за контрольованим збуренням, а для розглянутої САР ПДТ така можливість є. Достатньою умовою реалізації САР ПДТ є фізична реалізація передаточної функції коригуючого зв'язку.

Запишемо рівняння руху $L(t)$ в залежності від $F_p(t)$ по двом каналам:

$$L_1(t) = W_f(p) F_p(t)$$

$$L_2(t) = W_k(p) W_u(p) F_p(t)$$

Щоб компенсувати вплив $F_p(t)$ на $L(t)$ потрібно, щоб

$$L_1(t) = -L_2(t)$$

$$W_f(p) F_p(t) = -W_k(p) W_u(p) F_p(t)$$

$$W_k(p) = -\frac{W_f(p)}{W_u(p)}.$$

Для спрощення подальшого виводу передатної функції коригуючого зв'язку розглянемо моделі ОК першого порядку:

$$W_f(p) = \frac{e^{-29p}}{30p};$$

$$W_u(p) = \frac{e^{-21p}}{20p}.$$

$$W_k(p) = -\frac{e^{-29p}}{30p} : \frac{e^{-21p}}{20p} = \frac{e^{-29p}}{30p} * \frac{20p}{e^{-21p}} = -\frac{2}{3} * e^{-8p}$$

Дану передатну функцію можна фізично реалізувати в керуючому пристрої.

Структурна схема моделювання САР ПДТ з ПІД-регулятором та коригуючою ланкою наведена на рис. 3.28, а результати моделювання – на рис. 3.29.

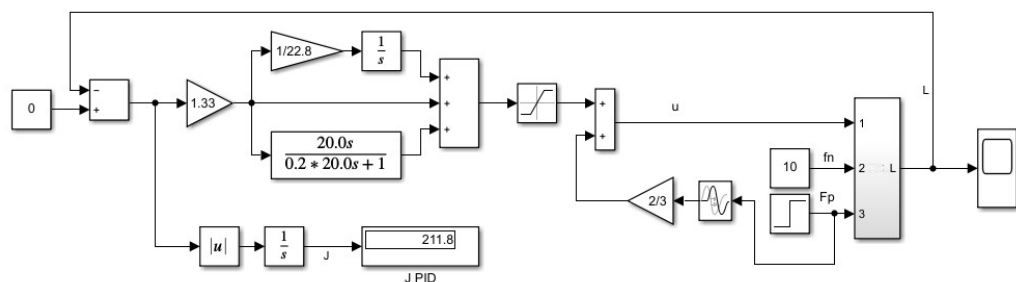


Рис. 3.28 – Структурна схема моделювання САР ПДТ

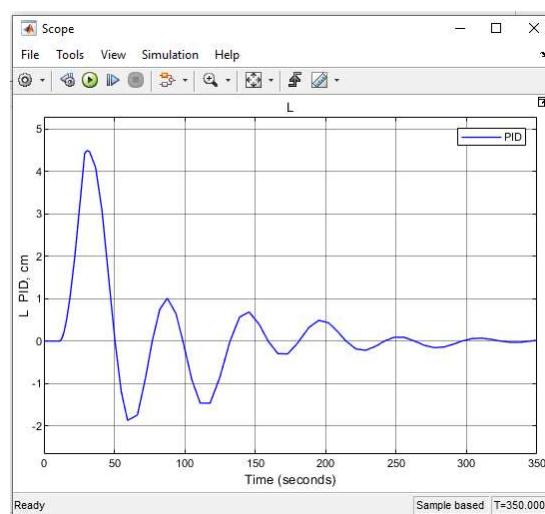


Рис. 3.29 Результати моделювання САР ПДТ
при дії збурень детермінованого характеру

3.3.3. Проведемо аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів об'єкту регулювання. Як і в випадку з САР базової структури, САР підвищеної динамічної точності досліджуємо на грубість в умовах варіації параметрів ОК, а саме, часу запізнення в каналах ОК $\pm 20\%$.

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для перевірки на грубість в умовах варіацій параметрів ОК приведена на рис. 3.30, а результати перевірки – на рис. 3.31.

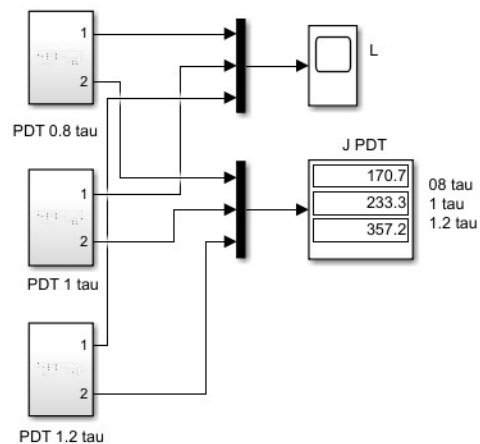


Рис. 3.30 – Схема моделювання САР ПДТ
при перевірці на грубість в умовах варіацій параметрів ОК

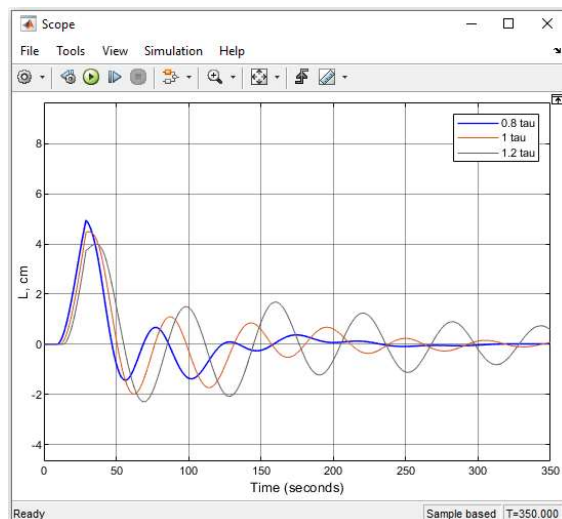


Рис. 3.31 - Аналіз на грубість САР ПДТ в умови дії детермінованих
неконтрольованих збурень

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіацій параметрів ОК САР ПДТ дає східні перехідні процеси, а значить вона є грубою.

3.3.4. Для порівняння якості роботи САР з ПІД-регулятором та САР ПДТ розроблена структурна схема моделювання, яка приведена на рис. 3.32. Результати порівняння приведені на рис. 3.33 і в таблиці 3.4.

Як видно з рис. 7.11, САР ПДТ має менше максимальне динамічне відхилення, проте більший час перехідного процесу, ніж САР з ПІД-регулятором.

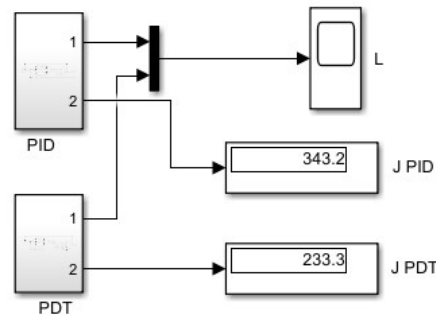


Рис. 3.32 – Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

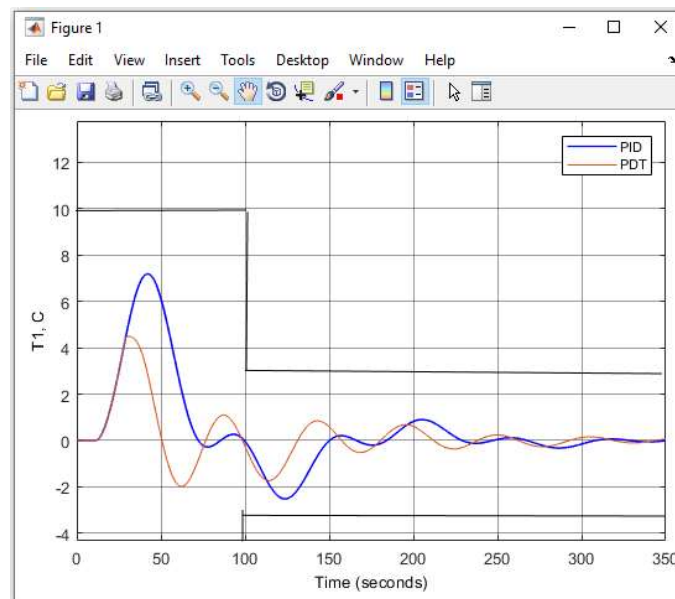


Рис. 3.33 – Перехідні процеси САР з ПІД-регулятором та САР ПДТ

Таблиця 3.4 Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники		
	$\Delta L_{\max}$	Т _{пп} , с	Критерій
ПДТ	4,4	42	233
ПД	7,2	58	343

Також САР підвищеної динамічної точності має кращий інтегральний критерій якості, ніж САР з ПД-регулятором.

ВИСНОВОК

В результаті виконання цього розділу роботи були набуті практичні навички у постановці та вирішенні комплексу завдань по синтезу ефективних алгоритмів керування для системи автоматичного регулювання та їх аналізу з позиції задоволення вимог практики.

Була розроблена САР базової структури за принципом замкнутого керування, яка отримує інформацію про поточний стан об'єкта. Переваги даного принципу: можна забезпечити високу точність стабілізації регульованої змінної. Властивості об'єкта необхідно знати тільки по каналу керування.

Спираючись на попередній досвід роботи з дослідження САР з різними регуляторами, був зроблений висновок про доцільність розгляду структурних схем САР тільки з ПІ - і ПІД-регуляторами, причому САР з ПІД-регулятором має кращі показники якості.

В результаті синтезу САР підвищеної динамічної точності була отримана система, показники якості якої мають більш високу динамічну точністю в порівнянні з САР базової структури. Це означає підвищення працездатності і надійності системи.

верхніх шарах води в котлі. Якщо рівень розчинів солей перевищить допустимий рівень, то відкриваються клапани K2, K3 і вода в котлі очищається від надлишка солей в верхніх шарах і шламу в нижніх шарах.

Стабілізацію рівня води в котлі здійснює САР, як описано в розділі 3. Функції оператора-технолога при автоматичному регулюванні зводяться до спостереження за значеннями регульованої змінної та коригуванні заданого значення для САР.

Що стосується процесів технологічного пуску та зупинки кола, то ці процеси не є автоматичними, бо вони здійснюються оператором котельні, який може вмикати і вимикати електропривод M1 і електромагнітні приводи клапанів K1, K2, K3 по місцю на щиті керування, орієнтуючись на сигнальні лампи.

Модернізація технічних засобів системи логічного керування котла полягає в застосуванні ПЛК та панелі оператора, що дасть змогу оператору вмикати і вимикати пристрої дистанційно в SCADA-системі.

Оператор може припуститися помилки, наприклад через втому, і тому доцільно створити алгоритми і програми для автоматичного пуску та зупинки котла, вже без його участі.

4.2. Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату при технологічному пуску, технологічній зупинці, блокуванню передаварійних ситуацій та при аварійній зупинці технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис

Для формалізації спочатку опишемо стадії ТП виробництва пари словами, а потім складемо схеми алгоритмів функціонування.

Для здійснення технологічного пуску необхідно:

- в початковому стані вимкнути всі електроприводи;
- із початкового стану перейти в стан набору води в котел до вехнього рівня;

- після стану набору води перейти в стан стабілізації рівня води, який буде змінюватись при виробництві пари;
- забезпечити допустимий рівень розчинів солей в котлі.



Рис. 4.2 Алгоритм функціонування при пуску котла

Для здійснення технологічної зупинки необхідно:

- із стану стабілізації рівня води в котлі перейти початковий стан.



Рис. 4.3 Алгоритм функціонування при зупинці котла

Передаварійні ситуації в котлі пов'язані із підвищенням або зниженням рівнем води гранично-допустимих значень. При підвищенні рівня треба

зупинити подачу води. При зниженні рівня треба зупинити подачу газу в горілку котла. Це дозволить запобігти переростання передаварійних ситуації в аварію.

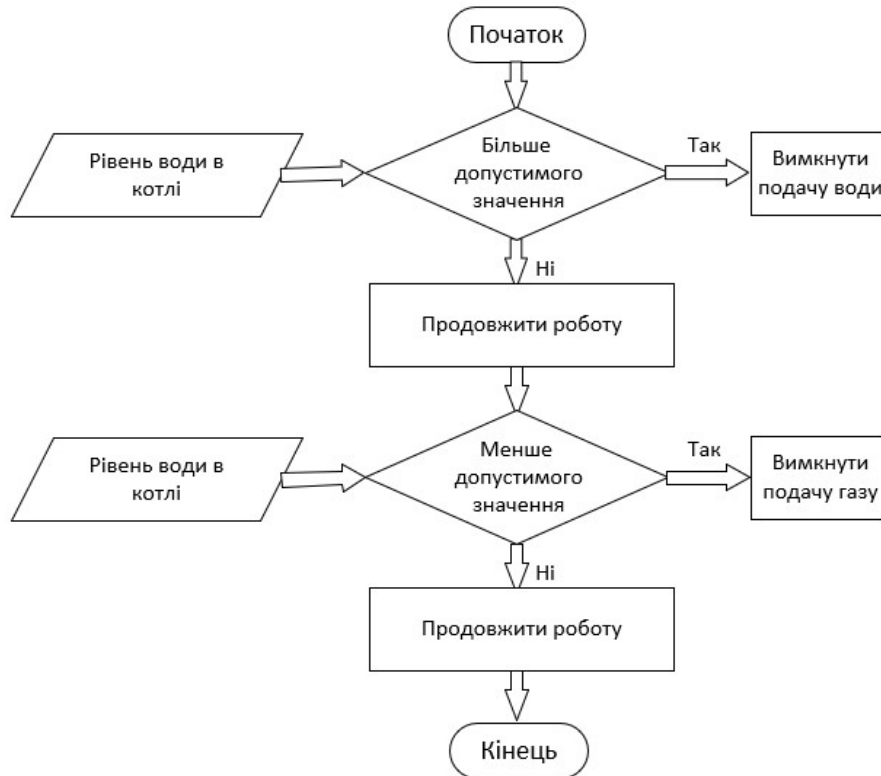


Рис. 4.4 Алгоритм функціонування при блокуванні передаварійної ситуації котла

4.3. Розробка алгоритмів автоматичного керування: технологічним пуском та зупинкою, блокування передаварійних ситуацій та аварійної зупинки технологічного агрегату у вигляді блок-схем та їх опис

Технологічний пуск котла слід здійснювати в наступній послідовності:

- перевірити тиск води перед насосом;
- якщо тиск більше уставки, увімкнути електропривод клапана K1;
- увімкнути електропривод насоса M1;
- перевірити верхній рівень води в котлі;
- якщо верхній рівень води в котлі більше уставки, перевести регулятор рівня з ручного в автоматичний режим роботи;

- перевірити електропровідність води;
- якщо рівень електропровідності більше уставки, увімкнути клапани K2, K3;
- через 5 с вимкнути клапани K2, K3.



Рис. 4.5 Алгоритм керування при пускі котла

Технологічну зупинку котла слід здійснювати в наступній послідовності:

- перевести регулятор рівня з автоматичного в ручний в режим роботи
- вимкнути електропривод насоса М1;
- вимкнути електроприводи клапанів К1, К2, К3.

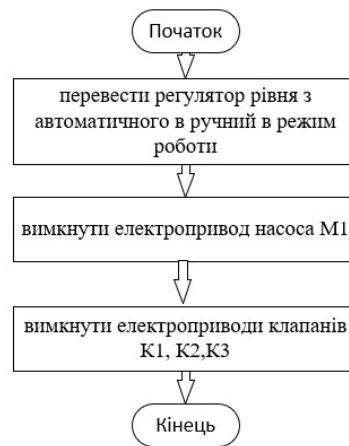


Рис. 4.6 Алгоритм керування при зупинці котла

Блокування передаварійних ситуацій слід здійснювати в наступній послідовності:

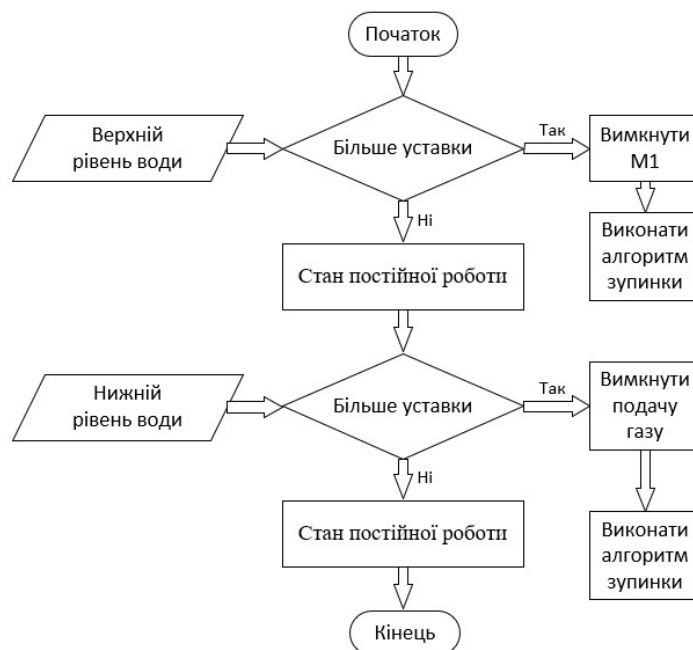


Рис. 4.7 Алгоритм керування при блокуванні передаварійних ситуацій котла

4.4. Розробка функціональної логічної схеми процесу керування технологічним агрегатом та її опис

Для дослідження системи логічного керування (СЛК) котла оберемо моделювання із застосуванням програм Simulink та Stateflow середовища Matlab.

В моделі Simulink (рис. 4.8) СЛК імітується блоком Chart із розділу бібліотеки Stateflow, входні сигнали від датчиків-реле і сигнал початку роботи Start імітуються блоками Step та Compare, а команди про вмикання електроприводів з виходів Chart подаються на багатокомпонентний осцилограф Scope. Імена і тип сигналів налаштовуються в підпрограмі Model Explorer, яку можна викликати з меню View Simulink (рис. 4.9).

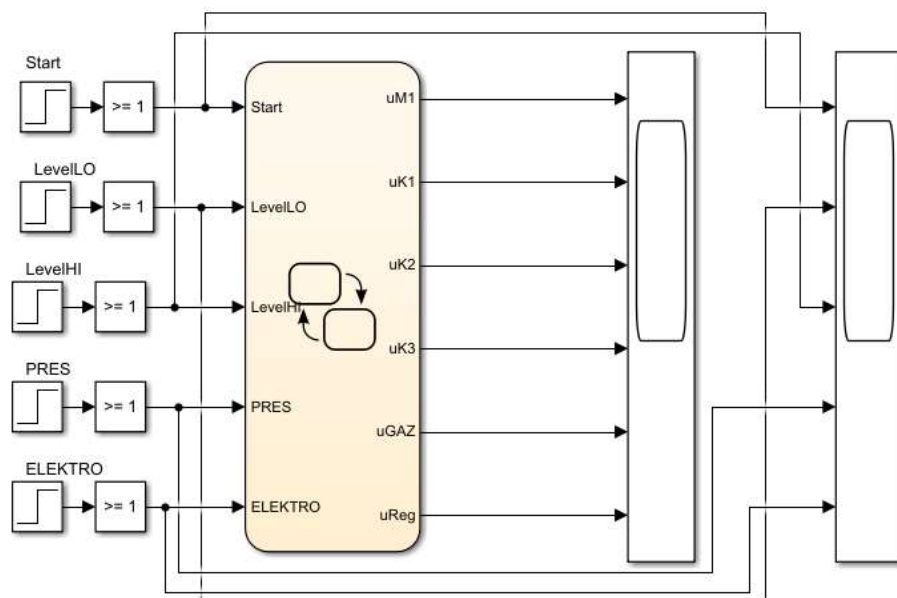


Рис. 4.8 Схема моделювання СЛК в програмі Simulink

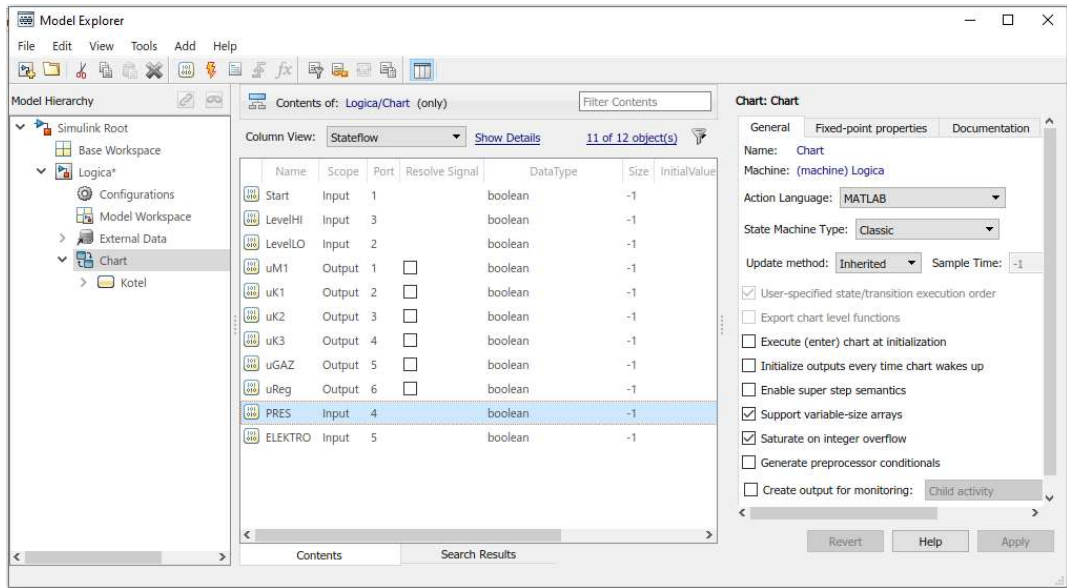


Рис. 4.9 Приклад налаштування імен і типів

вхідних і вихідних сигналів чату в програмі Model Explorer

В головному чаті Kotel додаємо підчати Init, Pusk, Ostanov, Avaria1, Avaria2, які відповідають станам СЛК і пов'язуємо їх між собою умовними зв'язками-подіями, умови виконання яких записані поруч з ними (рис. 4.10).

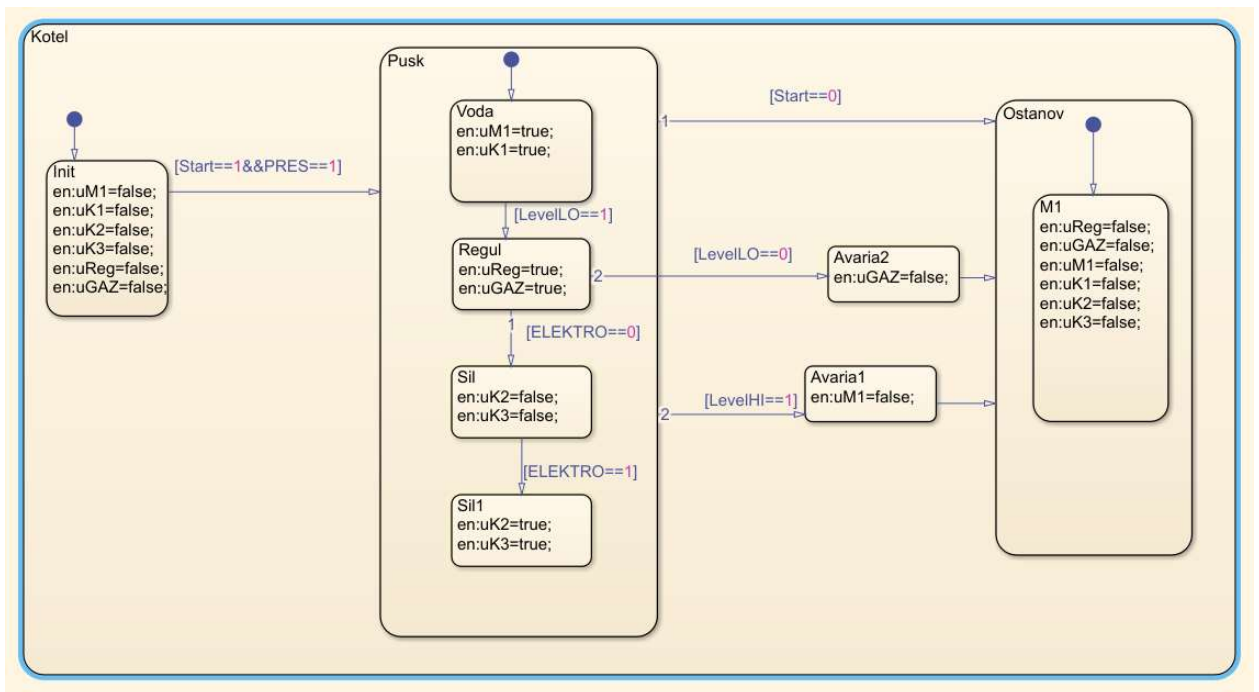


Рис. 4.10 Вигляд Chart Kotel

Підчат Init виконується першим, оскільки має на вході подію по замовчуванню Default Transition. Перехід від нього до підчату Pusk здійснюється при умові $Start==1 \&\&PRES==1$, тобто коли надійшла команда від оператора Start та є тиск води перед насосом. Перехід від підчату Pusk до підчату Ostanov можливий при виконанні умови $[Start==0]$. В підчатах Pusk і Ostanov стан внутрішніх підчатів Voda, Regul, Sil1, Sil2 перемикається в заданій послідовності. При вході в кожен із цих підчатів виконується команда $en:uXX=true$ або $en:uXX=false$, яка змінює значення вихідних командних змінних блоку Chart Kotel.

4.5. Імітаційне моделювання системи логічного керування

Результати моделювання СЛК в програмі Simulink, представлені на рис. 4.11, показують, що система керування працює коректно.

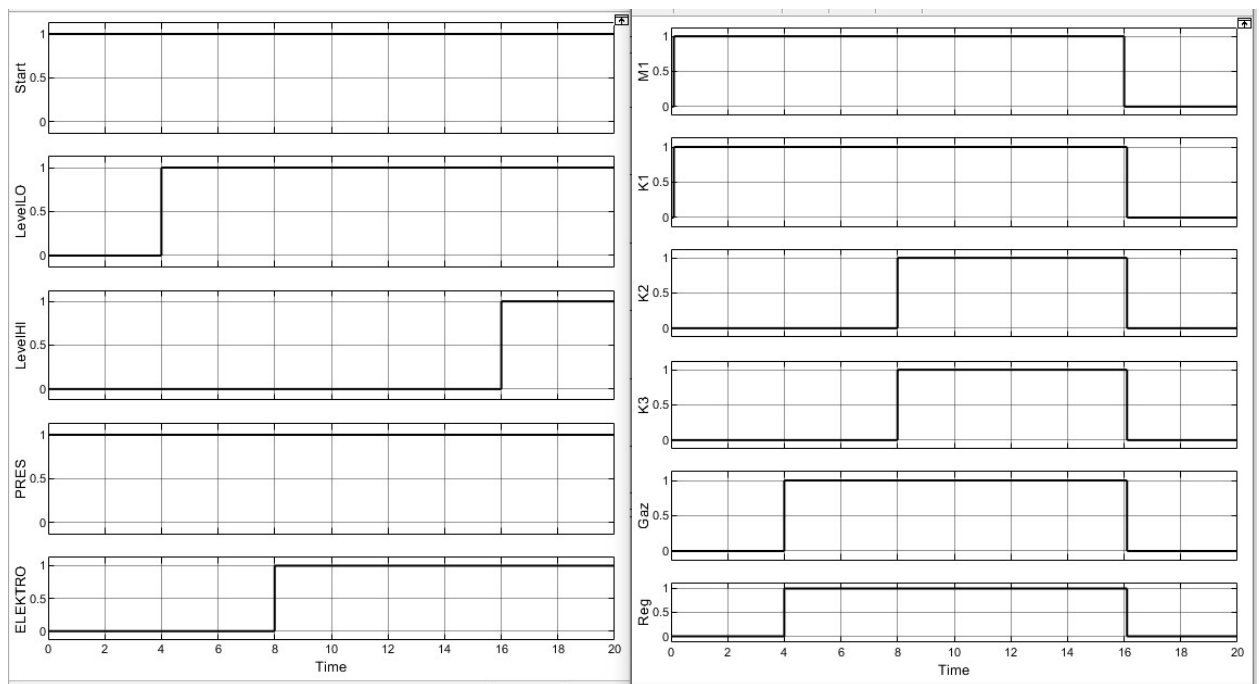


Рис. 4.11 Зміни у часі при нормальному режимі роботи:

а) логічних змінних на вході; б) логічних змінних на виході

4.6 Висновки за розділом

В результаті виконання розділу для даного технологічного процесу були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки системи

логічного керування (СЛК) електроприводами котла. Для дослідження СЛК котла обране моделювання із застосуванням програм Simulink та Stateflow середовища Matlab. Результати моделювання СЛК в програмі Simulink показують, що система керування працює коректно як в нормальному режимі, так і в передаварійному.

5. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ, РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення

5.1.1 До переліку середовищ, параметри яких підлягають контролю, вимірюванню, регулюванню відноситься: вода в котлі з температурою 98-102°C - з нею стикаються чутливі елементи датчиків рівня; водяна пара з тиском 0,5...1,1 бара і температурою 100...120 °C на виході з котла – з нею стикаються чутливі елементи витратоміра; живильна вода температурою 80...90 °C – з нею стикаються чутливі елементи сигналізатора тиску та елементи рециркуляційного насосу.

5.1.2 Характеристики виробничих приміщень, де розташовуються технологічне обладнання та технічні засоби автоматизації: процес виробництва пари здійснюється в котлі, який встановлений у приміщенні цеху, температура повітря в якому змінюється в діапазоні 18...25 °C. Цей процес є пожежовибухонебезпечним, оскільки в пальнику спалюється природний газ і в приміщенні можуть виникнути фактори, які здатні викликати пожежу або вибух.

«Правила улаштування електроустановок» визначають:

жарке приміщення - приміщення, в якому під впливом різних теплових випромінювань температура повітря перевищує постійно або періодично + 35 °C (наприклад, приміщення із сушарками, печами, котельні тощо).

Щодо безпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

приміщення з підвищеною безпекою, які характеризуються наявністю в них однієї з умов, що створює підвищену безпеку:

- 1) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);
- 2) високої температури;
- 3) можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів тощо, які мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого;

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлений котел, слід віднести до жаркого приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

Згідно з «Правилами будови електроустановок електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» клас вибухонебезпечних зон характерних виробництв та категорія і група вибухонебезпечної суміші повинні відображатися в нормах технологічного проектування або в галузевих переліках виробництв з вибухопожежонебезпеки.

Газо-, пароповітряні вибухонебезпечні середовища утворюють вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2, а пилоповітряні — вибухонебезпечні зони класів 20, 21, 22.

Вибухонебезпечна зона класу 2_— простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлений котел, слід віднести до вибухонебезпечної зони класу 2.

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних машин, електричних апаратів і приладів (табл. 5.1, 5.2).

Табл. 5.1 Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних машин (стаціонарних і пересувних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухобезпечне електрообладнання
1	Вибухобезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху
20	Особливо вибухобезпечне і вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
21	Вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9). Ступінь захисту IP54 Частини машин, що дають іскріння (наприклад, контактні кільця), повинні бути замкнені в оболонку зі ступенем захисту IP54

Табл. 5.2 Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів (стаціонарних, пересувних і переносних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухобезпечне електрообладнання
1	Вибухобезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху. Допускається застосовувати електрообладнання без засобів вибухозахисту для апаратів і приладів, що не іскрять і не нагріваються вище +80° С в оболонці зі ступенем захисту не менше IP54
20	Особливо вибухобезпечне і вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
21	Вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9) оболонки зі ступенем захисту не менше IP54

Для приміщення, де встановлений котел, слід вибирати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Підвищеної надійності проти вибуху».

«Правила будови електроустановок електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» визначають:

Пожежонебезпечна зона класу П-П — простір у приміщенні, у якому можуть накопичуватися і виділятися горючі гази, пил або волокна.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлений котел, слід віднести до пожежонебезпечної зони класу П-П.

«Правила будови електроустановок електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів (табл. 5.3, 5.4).

Табл. 5.3 Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин у залежності від класу пожежонебезпечної зони

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класу			
	П-I	П-II	П-IIIa	П-III
Установки стаціонарні, які іскрять або мають частини, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Установки стаціонарні, які не іскрять і не мають частин, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Установки на пересувних механізмах (крани, тельфери тощо), які іскрять або не іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44

Табл. 5.4 Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів у залежності від класу пожежонебезпечної зони

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класів			
	П-I	П-II	П-IIIa	П-III
Установки стаціонарні або на пересувних механізмах (крани, тельфери тощо), які іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Установки стаціонарні або на пересувних механізмах, які не іскрять за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Шафи для розміщення апаратів і приладів	IP44	IP54 IP44*	IP44	IP44
Коробки наборів затискачів силових і вторинних кіл	IP44	IP44	IP44	IP44

Для приміщення, де встановлений котел, слід вибирати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP54.

Оскільки датчики рівня котлової води, а також витратомір пари монтуються безпосередньо на корпусі котла та паропроводі, то їх виконання повинно передбачати ступінь захисту не менше IP54, ступінь вибухозахисту - підвищеної надійності проти вибуху.

На обслуговуючий персонал діють такі шкідливі чинники, як шум та підвищена температура. Тому АРМ оператора-технолога доцільно винести в окреме приміщення, в яке зводиться вся необхідна інформація про стан технологічних параметрів. В системі слід передбачити можливість місцевого та дистанційного керування технологічним обладнанням.

5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання

В ході технологічно процесу виробництва пари використовуються наступні технічні засоби:

5.2.1 Для виміру рівня котлової води в котлі застосований датчик рівня CLM-XiT-11-V-I-E300.

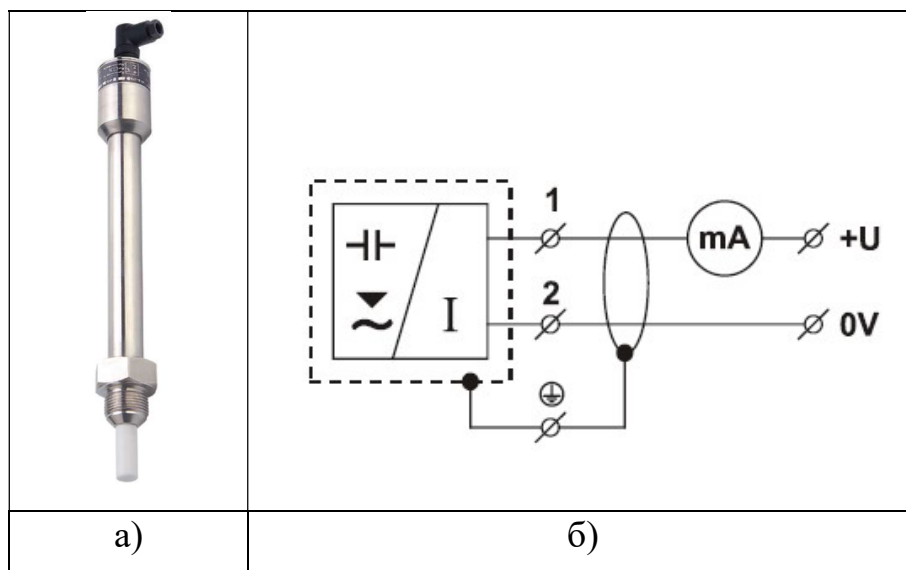


Рис.- 5.1. Датчик рівня CLM а) зовнішній вигляд;

б) схема підключення

Supply voltage	CLM-36N(T)-_-_-I CLM-36N(T)-_-_-U	9 ... 36 V DC 16 ... 36 V DC
Current output		4 ... 20 mA
Voltage output		0 ... 10 V
Power consumption (off-load) CLM-36N(T)-_-_-U		approx. 8 mA
Sensitivity ranges		20 ; 30 ; 50 ; 100 ; 150 ; 300 ; 500 ; 1000 pF
Initial capacity regulation ratio		min. 1:2
Nonlinearity		max. 1 %
Temperature error		max. 0.05% / K
Voltage error for current and voltage output		max. 0.3 μ A/V and 0.1 mV/V
Internal resistance / Electric strength (Electrode – Housing)		1 M Ω / 250 V AC
Coupling capacity / Electric strength (Housing – Supply leads)		51 nF / 250 V AC
Protection class	Standard Optional (Connector GAN-DADE 7A or GAN-DAEE 7A)	IP67 (Housing), IP65 (Connector) IP67
Maximal load (serial) resistance for current output (U = 24 V)		R _{max} = 750 Ω
Minimal load resistance for voltage output		R _{min} > 1 k Ω

CLM-36XiT	High temperature performance (max. 200°C) for explosive areas Ⓔ II 1/2 GD T 83°C Ex ia IIB T5 isolating repeater (e.g. IRU-420). Electrode part zone 0 and 20, housing zone 1 and 21
-----------	--

Рис. 5.2 Технічні характеристики датчика рівня CLM

5.2.2 Для сигналізації рівня котлової води в котлі застосований датчик-реле рівня DLS-27-XiT-22-B-PO-E500.

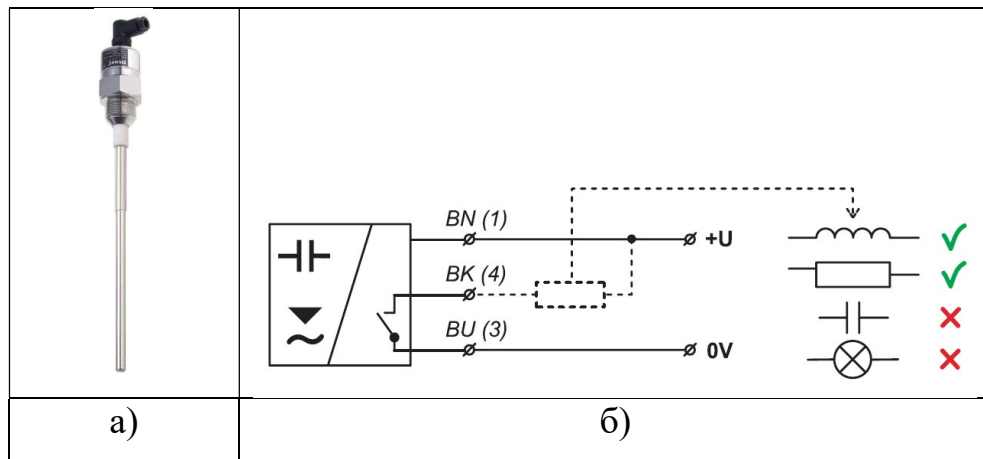


Рис.5.3.- Датчик-реле рівня DLS а) зовнішній вигляд;
б) схема підключення

TECHNICAL DATA		
Supply voltage	performance DLS-27N performance DLS-27Xd	7 ... 36 V DC 7 ... 33 V DC
Current supply (state OFF / ON)		3 / 10 mA *
Max. switching current (NPN, PNP)	performance DLS-27N performance DLS-27Xd	200 mA 200 mA
Residual voltage – ON state		max. 1,5 V
Delay of output signal due to electrode activation		0,2 s
Input resistance / Electric strength		1 M Ω / 1 kV AC
Coupling capacity / Electric strength		47 nF / 250 V AC *
Protection class		IP 67
Cable (version with cable outlets)		PVC 3 x 0,5 mm ² or 2 x 0,75 mm ²

Рис. 5.4 Технічні характеристики датчика рівня DLS

5.2.3 Для вимірювання рівня електропровідності котлової води в котлі застосований датчик IFM LDL101.

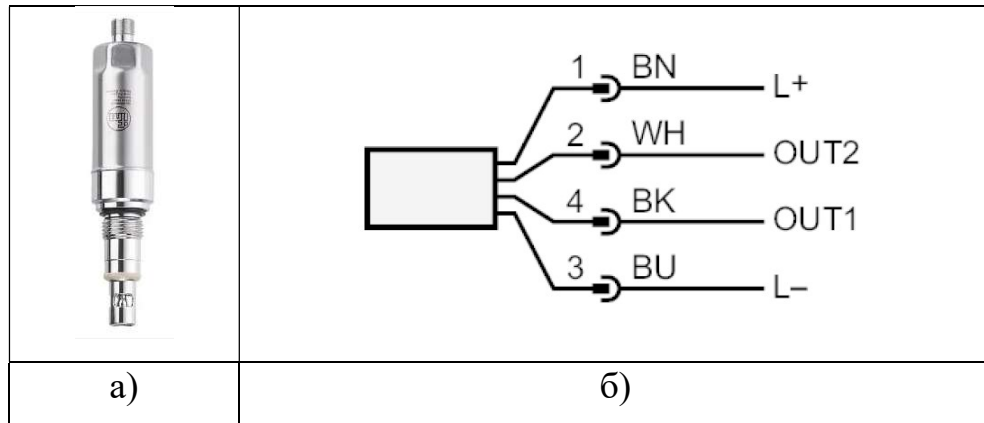


Рис.5.5.- Датчик електропровідності LDL101 а) зовнішній вигляд;
б) схема підключення

Позначення продукції	датчик електропровідності
діапазон вимірів	0,04...1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Робоча напруга DC	18...30 V
Тип напруги	DC
Дозвіл	EC1935/2004 FDA FCM CE EAC cULus 3-A UKCA EHEDG
Функція вихідного сигналу	Аналоговий вихід; масштабований; на вибір електропровідність / температура; аналоговий
Вихідний сигнал	аналоговий сигнал 4...20 mA; IO-Link
З'єднання	M12 Гніздо
Матеріал	нерж. сталь (1.4404/316L); PEI; FKM
Матеріали корпусу в контактi із змін. середовищем	нерж. сталь (1.4435/316L); PEEK
Температура навколишнього середовища	-40...60 °C
Бренд	ifm electronic gmbh або еквівалент
Тип	LDL101

Рис. 5.6 Технічні характеристики датчика рівня DLS

5.2.4 Для виміру витрат пари на паропроводі з виходу котла застосований витратомір OPTISWIRL 5080

	Технічні характеристики: робочі температури 100...430 °C максимальний тиск 103 бар ступінь захисту IP66, Ex ia IIC T4 Ga живлення 15...42 V DC аналоговий вихід 4...20 mA HART точність 1% від діапазону
а)	б)

Рис. 5.7. – витратомір OPTISWIRL 5080:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

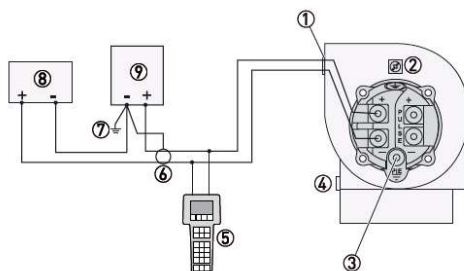


Рисунок 5.8 Схема з'єднання витратоміра з виходом 4...20 мА

1 З'єднання кабелепроводу. 2 Внутрішня клемма заземлення. 3 Фізичне заземлення. 4 Зовнішня клемма заземлення. 5 HART-комунікатор. 6 Екранований кабель. 7 Заземлення. 8 Приймач. 9 Електроживлення

5.2.5 Для сигналізації зниження тиску живильної води перед насосом застосоване реле тиску RT 112- 017-519266, діапазон тиску 0,1-1 бар, степінь захисту IP54, маркування вибухозахисту 1ExdeibIICT5X.

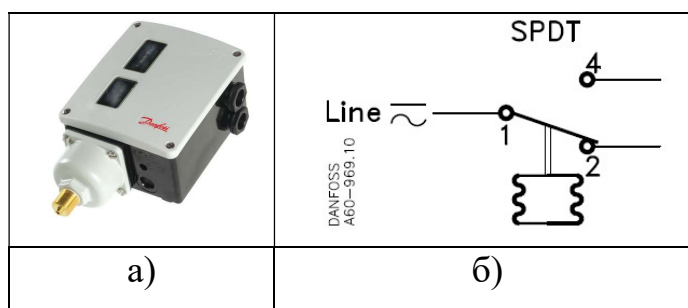


Рис.- 5.9 Реле тиску RT 200L:

а) зовнішній вигляд; б) схема підключення

5.3. Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням

5.3.1. Для зміни витрат живильної води в котел за рахунок зміни частоти обертання насоса застосований перетворювач частоти SINAMICS G120C

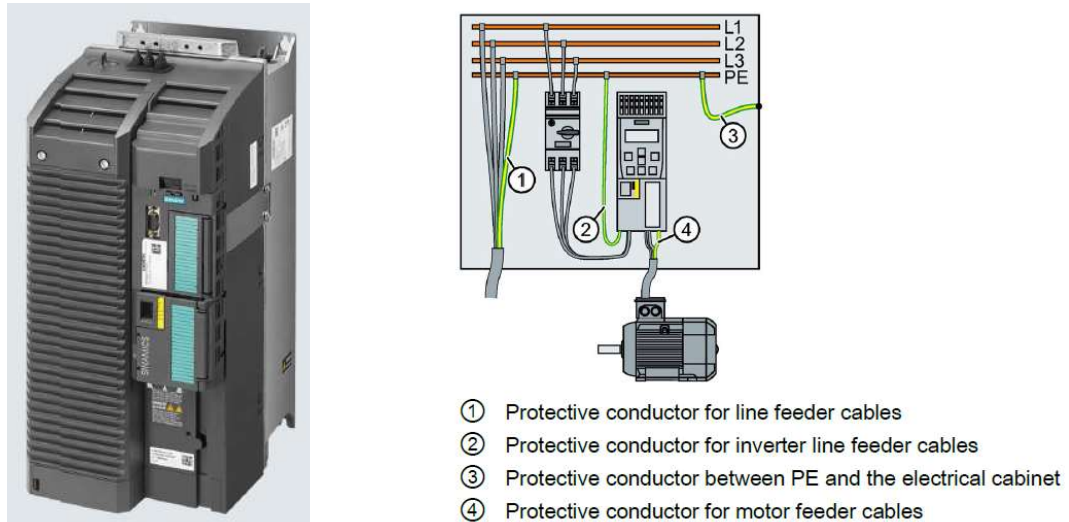


Рис. 5.10 Зовнішній вигляд та схема підключення живлення SINAMICS G120C

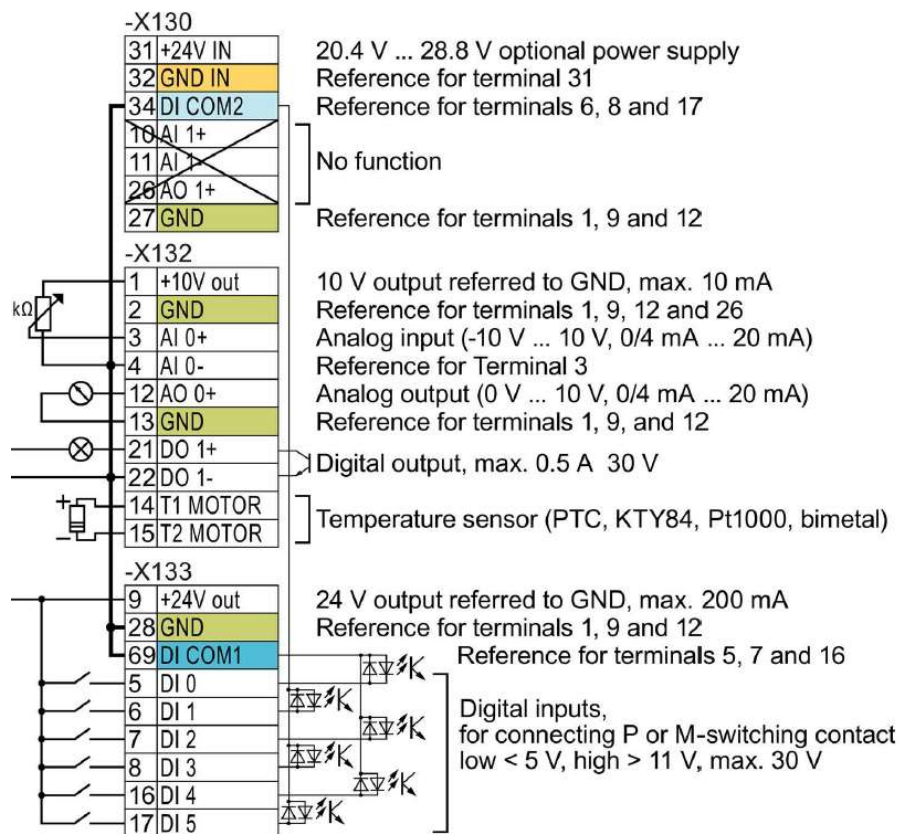


Рис. 5.11 Схема підключення клем входів і виходів SINAMICS G120C

5.3.2. Для припинення руху води застосований електромагнітний клапан 2/2 нормально закритий з різьбою G 2" серії SV-ZS11-ES-22NC-50

	Конструкція	Дволінійний двопозиційний нормально закритий клапан з одностороннім пілотним електричним управлінням
	Матеріал	Бронза, NBR (стандарт) Нержавіюча сталь AISI304 або AISI316, VITON (на замовлення)
	Підключення	G2"
	Кріплення	Вертикальне
	Діапазон робочих температур	від -5 до +80 °C (при сухому повітрі без вологи)
	Напруга живлення	AC220V, DC24V
	Допустима зміна напруги живлення	±10%
	Робоче середовище	Повітря, вода, масла (в'язкістю до 20CTS), газ
	Діапазон робочого тиску	0—5 бар (вода),
		0—7 бар (повітря), 0—5 бар (масло)
а)	б)	

Рис.- 5.11 Електромагнітний клапан SV-ZS11-ES-22NC-50:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.4. Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі

5.4.1 Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи.

Виконавши аналіз системи автоматизації виробництва пари за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні оброблятися в керуючому пристрої - контролері.

Табл. 5.1 Список параметрів на входах або виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Рієнь котлової води в котлі	A	I	4...20 mA DC
2	Витрати пари на виході з котла	A	I	4...20 mA DC
3	Сигнал авт.вимикача M1	D	I	24 V DC
4	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
5	Сигнал перемикача режиму M1	D	I	24 V DC
6	Сигнал тиску води перед насосом	D	I	24 V DC
7	Сигнал верхнього рівня води	D	I	24 V DC
8	Сигнал нижнього рівня води	D	I	24 V DC
9	Сигнал електропровідності води	D	I	24 V DC
10	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
11	Сигнал керування клапаном K1	D	O	24 V DC
12	Сигнал керування клапаном K2	D	O	24 V DC
13	Сигнал керування клапаном K3	D	O	24 V DC
14	Сигнал керування частотним перетворювачем	A	O	4...20 mA DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 2, AO – 1, DI – 7, DO – 4

5.4.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

В системі автоматизації ПЛК та допоміжне устаткування розташовуються в одному приміщенні компактно, тому доцільно обрати централізовану схему розміщення модулів системи керування.

Систему керування будемо розробляти на базі контролера S7-1500 фірми Siemens. Приміщення цеху опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання, а не з розширеним температурним діапазоном, які дорожче. Враховуючи, що центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, доцільно розмістити їх у навісній шафі зі ступенем захисту не менш IP54 в окремому від технологічного устаткування приміщенні.

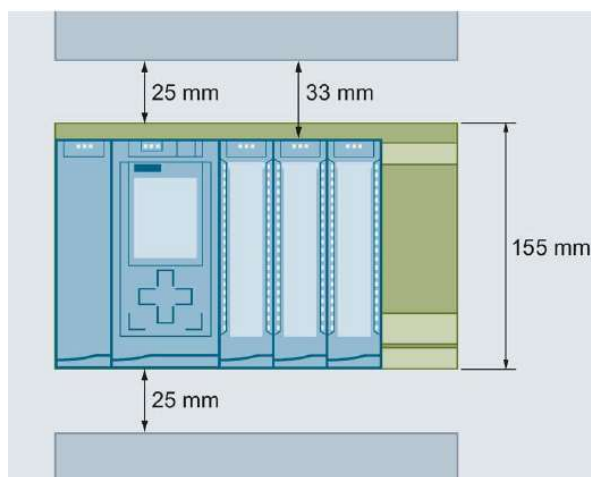


Рис. 5.12 Рекомендації з монтажу Simatic S7-1500 у шафі

Враховуючи кількість змінних, які необхідно вводити та виводити з контролера, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування приймає наступний вигляд (рис. 5.13).

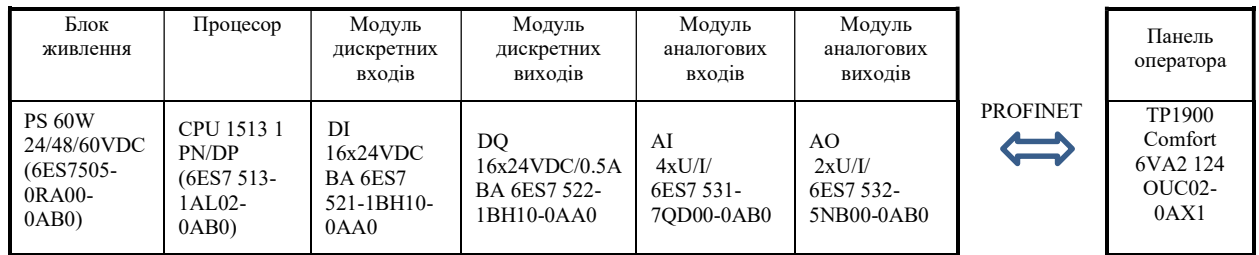


Рис. 5.13 Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

Центральний процесор CPU 1513 1 PN без вбудованих каналів вводу-виводу, орієнтований на рішення стандартних завдань автоматичного керування. Дозволяє використовувати в системі локального вводу-виводу весь спектр сигнальних, технологічних та комунікаційних модулів S7-1500.

Article number	6ES7513-1AL02-0AB0	Work memory	
General information		• integrated (for program)	300 kbyte
Product type designation	CPU 1513-1 PN	• integrated (for data)	1.5 Mbyte
HW functional status	FS01	Load memory	
Firmware version	V2.5	• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	32 Gbyte
Engineering with		Backup	
• STEP 7 TIA Portal configurable/integrated as of version	V15	• maintenance-free	Yes
Configuration control		CPU processing times	
via dataset	Yes	for bit operations, typ.	40 ns
Display		for word operations, typ.	48 ns
Screen diagonal [cm]	3.45 cm	for fixed point arithmetic, typ.	64 ns
Control elements		for floating point arithmetic, typ.	256 ns
Number of keys	8	CPU-blocks	
Mode buttons	2	Number of elements (total)	2 000; Blocks (OB, FB, FC, DB) and UDTs
Supply voltage		DB	
Type of supply voltage	24 V DC	• Number range	1 ... 60 999; subdivided into: number range that can be used by the user: 1 ... 59 999, and number range of DBs created via SFC 86: 60 000 ... 60 999
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V	• Size, max.	1.5 Mbyte; For non-optimized block accesses, the max. size of the DB is 64 KB
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V	FB	
Reverse polarity protection	Yes	• Number range	0 ... 65 535
Mains buffering		• Size, max.	300 kbyte
• Mains/voltage failure stored energy time	5 ms	FC	
• Repeat rate, min.	1/s	• Number range	0 ... 65 535
Input current		• Size, max.	300 kbyte
Current consumption (rated value)	0.7 A	OB	
Current consumption, max.	0.95 A	• Size, max.	300 kbyte
Inrush current, max.	1.9 A; Rated value	• Number of free cycle OBs	100
$I_{\Delta t}$	0.02 A ² ·s	• Number of time alarm OBs	20
Power		• Number of delay alarm OBs	20
Infeed power to the backplane bus	10 W	• Number of cyclic interrupt OBs	20; With minimum OB 3x cycle of 500 µs
Power consumption from the backplane bus (balanced)	5.5 W	• Number of process alarm OBs	50
Power loss		• Number of DPV1 alarm OBs	3
Power loss, typ.	5.7 W	• Number of isochronous mode OBs	1
Memory		• Number of technology synchronous alarm OBs	2
Number of slots for SIMATIC memory card	1	• Number of startup OBs	100
SIMATIC memory card required	Yes		

Рис. 5.14 Технічні дані CPU 1513 1 PN

Для вводу дискретних сигналів обраний модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)

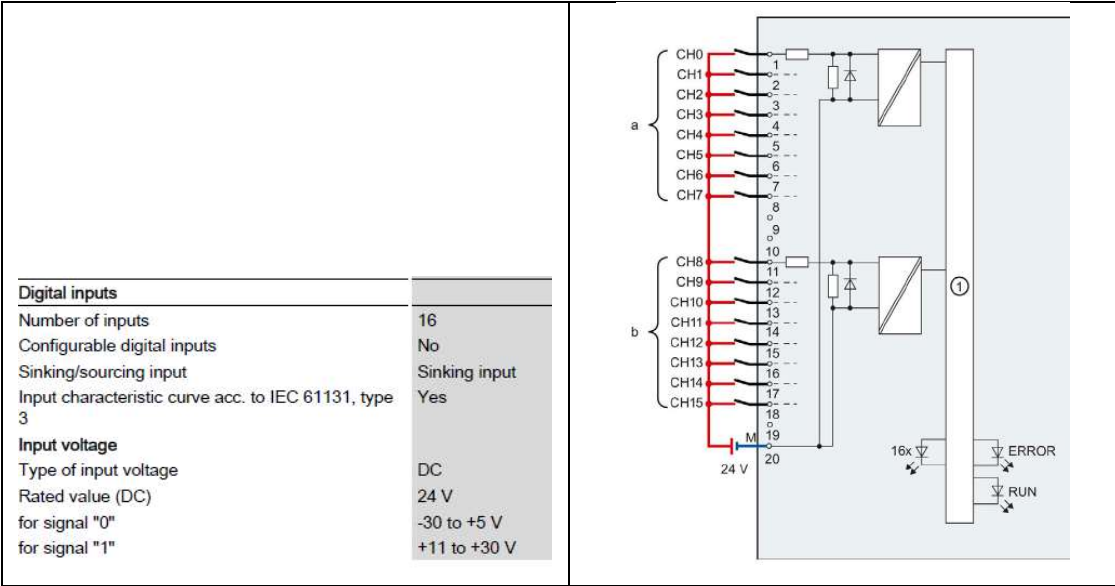


Рис. 5.15 Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

Для виводу дискретних сигналів обраний модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)

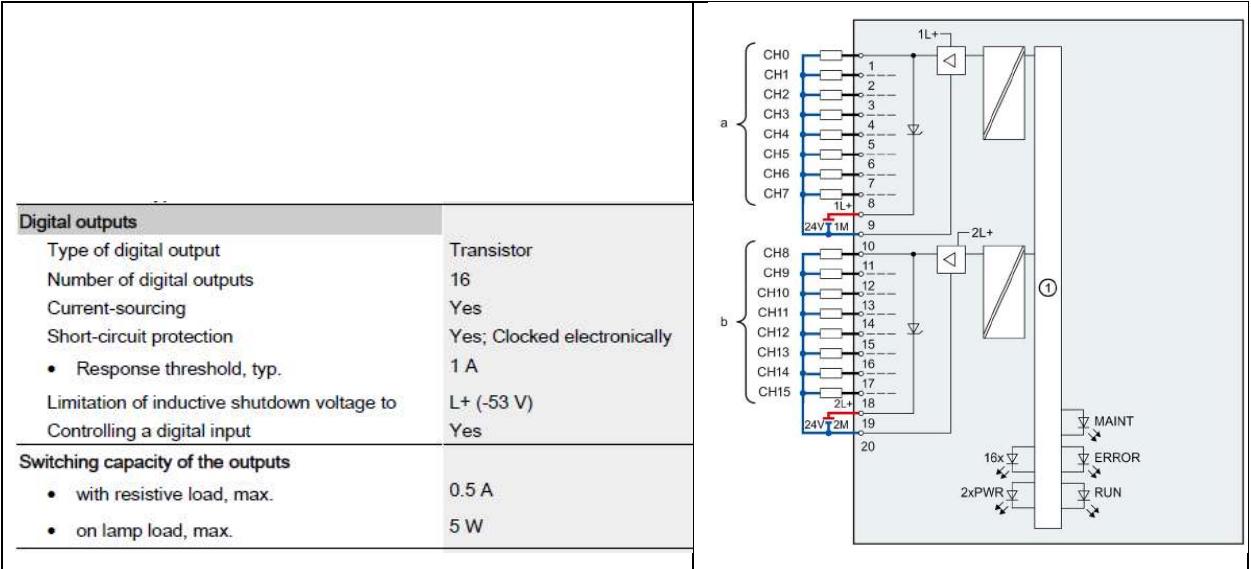


Рис. 5.16 Технічні характеристики та схема підключень

DQ 16x24VDC/0.5A BA

Для вводу аналогових сигналів обраний модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00-0AB0).

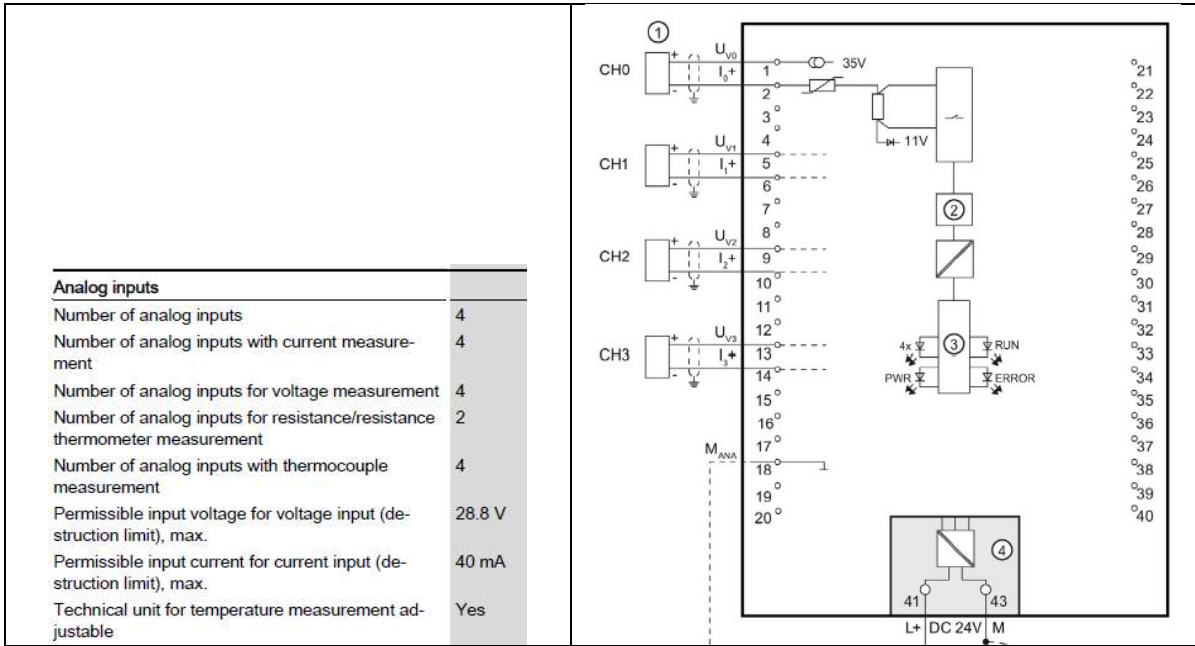


Рис. 5.17 Технічні характеристики та схема підключень датчиків сили струму до входів 6ES7 531-7QD00-0AB0

Для виводу аналогових сигналів обраний модуль AO 2xU/I/6ES7 532-5NB00-0AB0

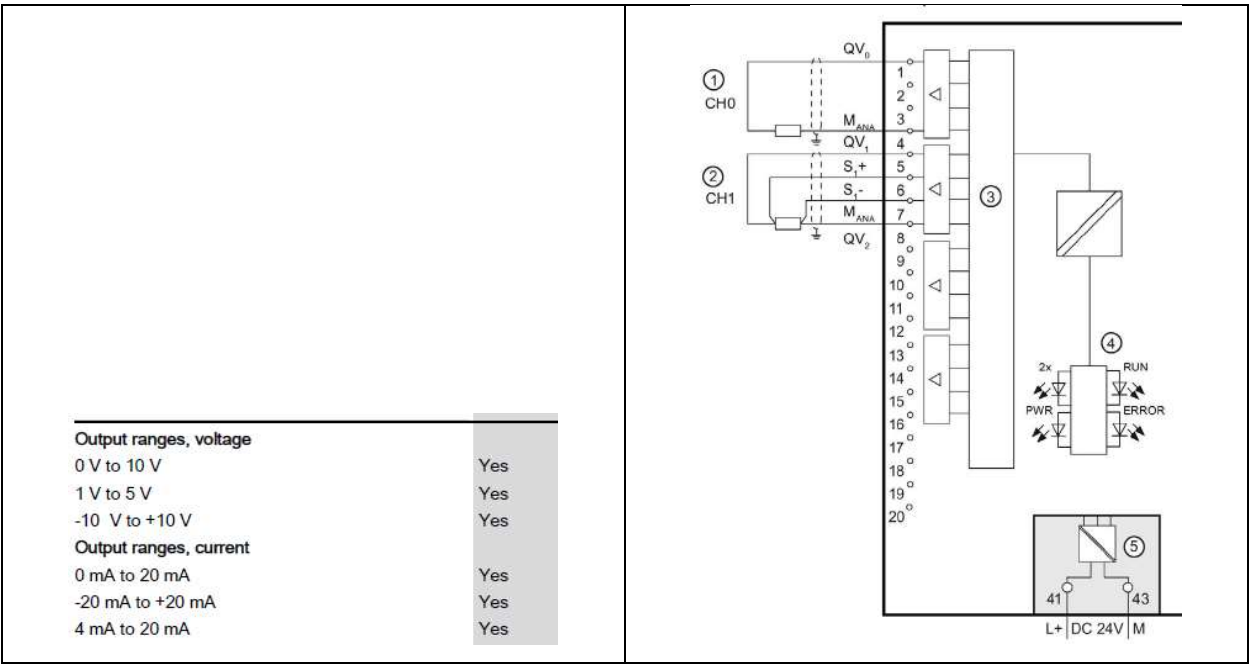


Рис. 5.18 Технічні характеристики та схема формування уніфікованої напруги на виходах 6ES7 532-5NB00-0AB0

Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів для керування процесом виробництва пари. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Мікропроцесорне ядро системи керування побудоване за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи.

6. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, КОНТРОЛЕРА І МЕРЕЖ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ САК

6.1 Програмне конфігурування контролера

У середовищі TIA Portal створюємо проект і додаємо до його складу обрані в 5-му розділі контролер CPU 1513-1 PN та панель оператора TP1900 Comfort.

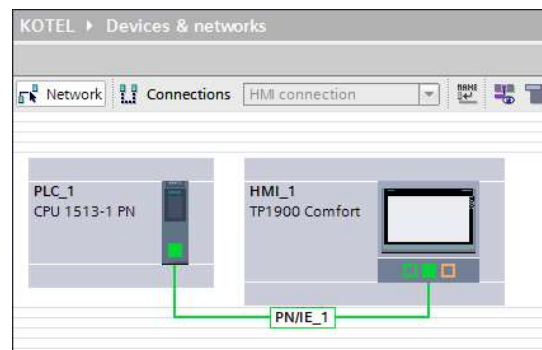


Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проекту

Щоб узгодити тип і діапазон зміни сигналів від датчиків їх входами ПЛК, виконуємо конфігурування обраного контролера і його модулів. Для цього необхідні модулі вводу/виводу перетягуємо в поле редагування з Hardware Catalog, присвоюємо імена фізичним входам і виходам (рис. 6.2). Визначаємо у властивостях модулів тип сигналів та діапазони їх зміни (рис. 6.3).

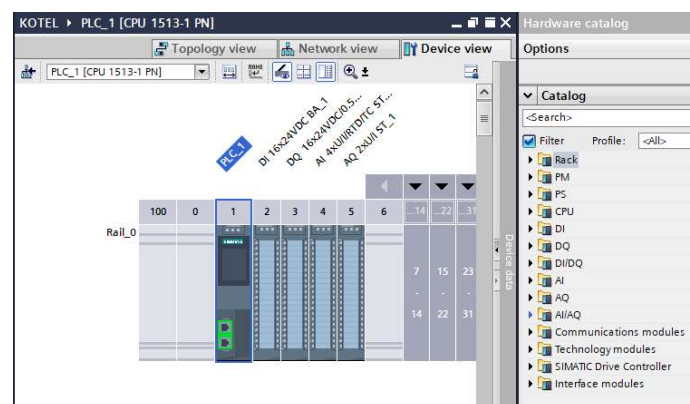


Рис. 6.2 Конфігурування контролера і модулів ПЗО

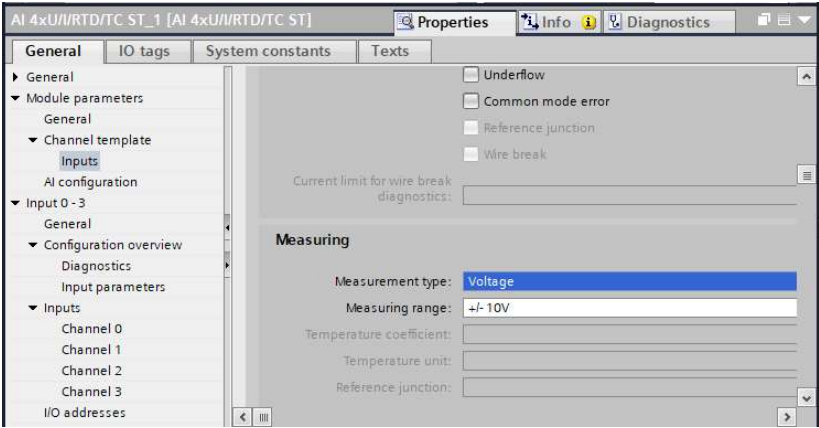


Рис. 6.3 Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни

Остаточне визначення імен входів/виходів проводимо в таблиці тегів програми.

	Name	Data type	Address
16	bCloseK1	Bool	%I0.1
17	bOpenK2	Bool	%I0.2
18	bCloseK2	Bool	%I0.3
19	bOpenK3	Bool	%I0.4
20	bCloseK3	Bool	%I0.5
21	input1	Bool	%I0.6
22	input2	Bool	%I0.7
23	bForwardM1	Bool	%I1.0
24	input10	Bool	%I1.1
25	input11	Bool	%I1.2
26	input12	Bool	%I1.3
27	input13	Bool	%I1.4
28	Input14	Bool	%I1.5
29	Input15	Bool	%I1.6
30	Input16	Bool	%I1.7
31	bOnK1	Bool	%Q0.0
32	bOnK2	Bool	%Q0.1
33	bOnK3	Bool	%Q0.2
34	Output4	Bool	%Q0.3
35	bOnM1	Bool	%Q0.4
36	Output6	Bool	%Q0.5

Рис. 6.4 Приклад вікна таблиці тегів

6.2 Розробка програмного забезпечення

Програму будемо будувати із застосування функціональних блоків бібліотеки Siemens Open Library (SOL). За допомогою миші перетягуємо з бібліотеки SOL в наш проект теги та необхідні функціональні блоки.

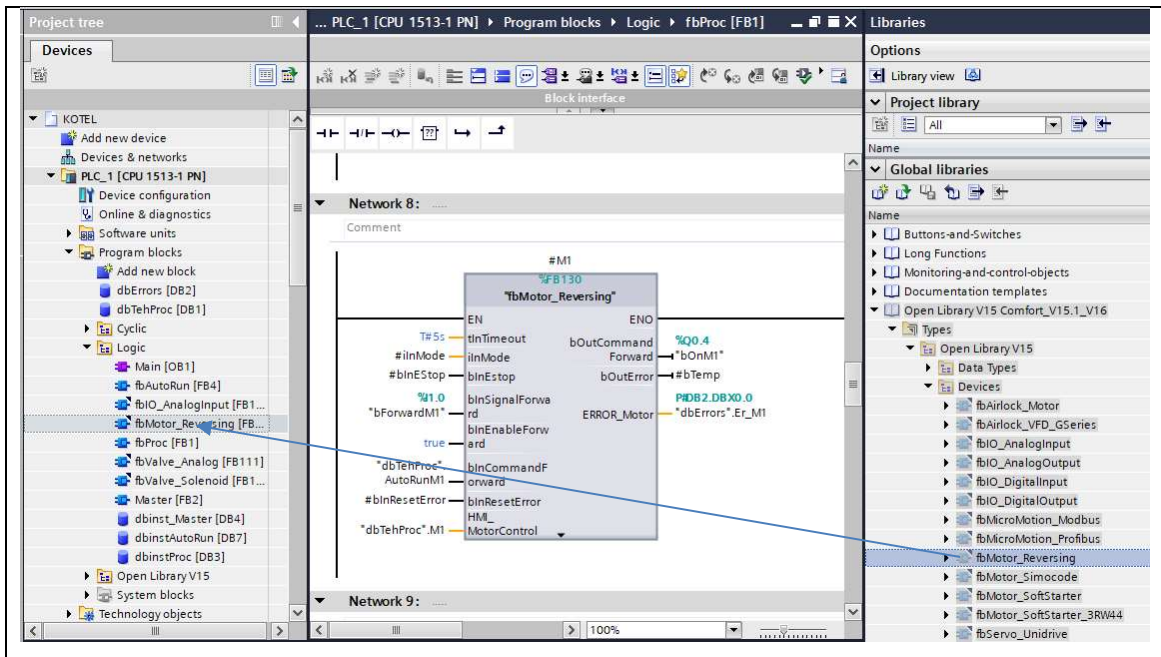


Рис. 6.5 Приклад додавання бібліотечних тегів та функціональних блоків
FB Motor, FB Valve_Analog, FB Valve_Solenoid

Використовуючи бібліотечні типи даних, створюємо два глобальних
блоки даних

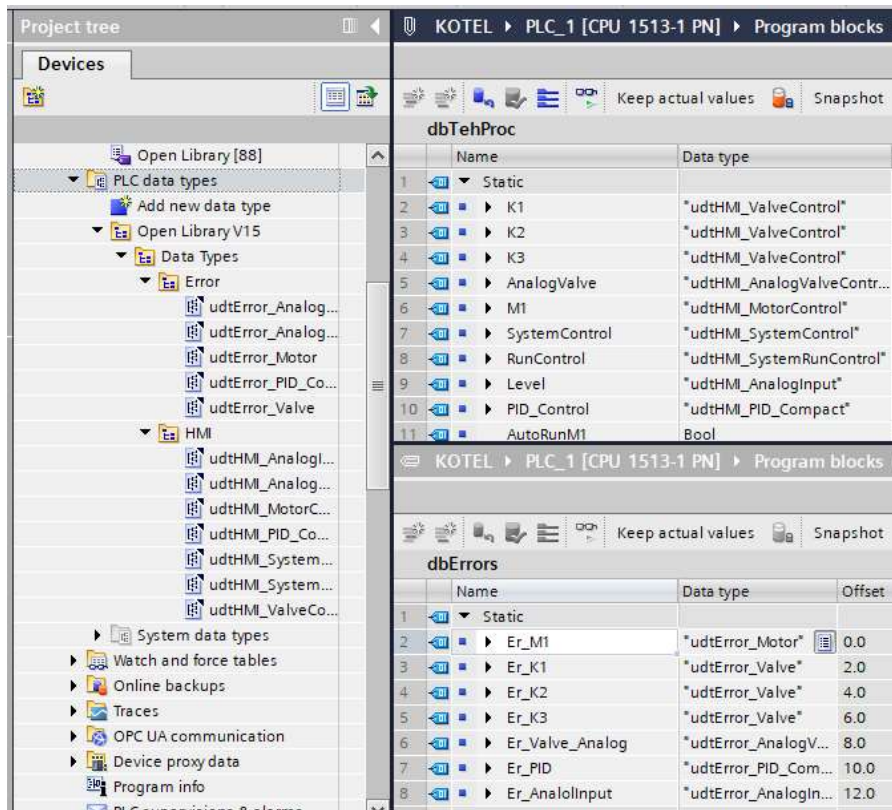


Рис. 6.6 Створення глобальних dbTehProc, dbErrors

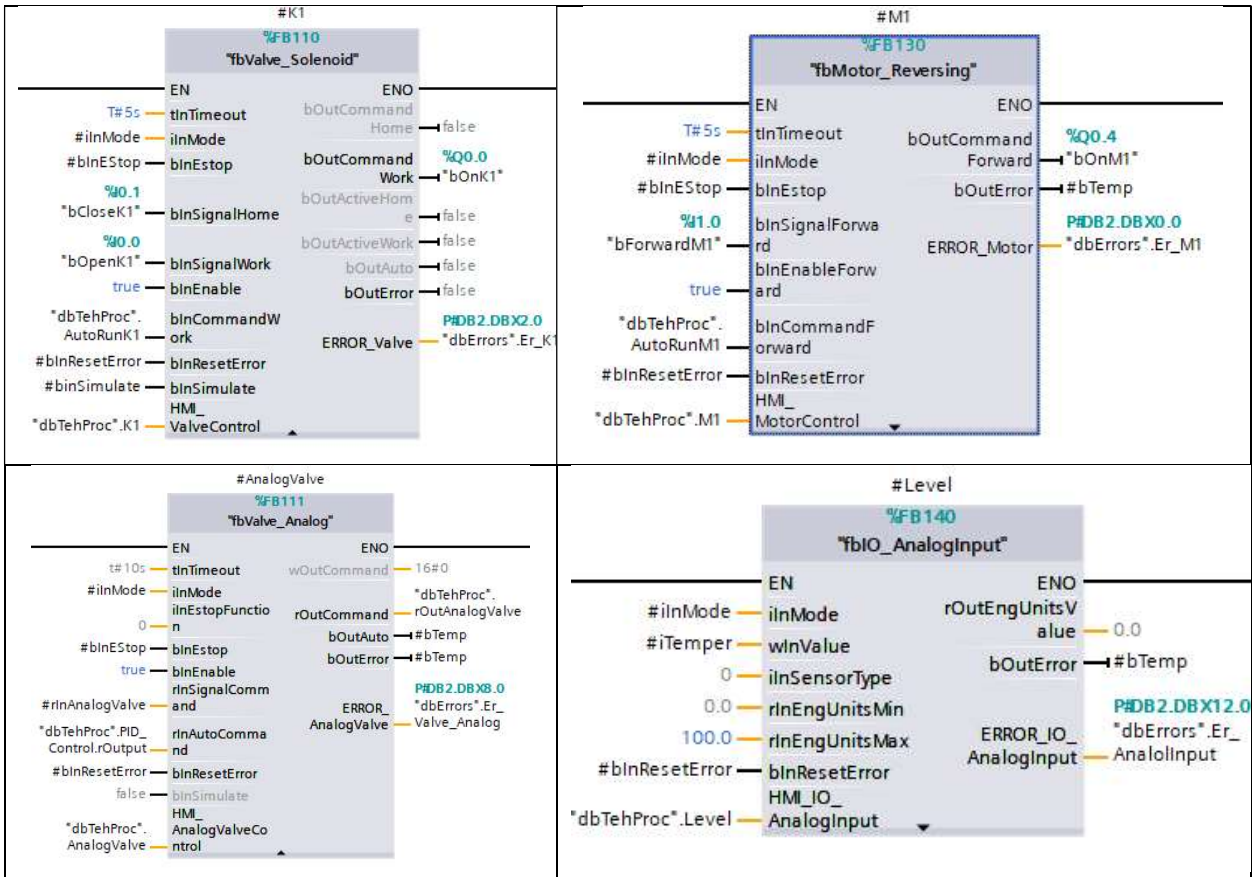
6.2.1 Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме клапанів K1, K2, K3, електроприводу M1.

KOTEL ▸ PLC_1 [CPU 1513-1 PN] ▸ Program blocks ▸ Logic ▸ f

	Name	Data type	Default value
1	Input		
2	ilnMode	Int	0
3	blnEStop	Bool	false
4	blnResetError	Bool	false
5	blnSimulate	Bool	false
6	Output		
7	bOutAuto	Bool	false
8	bOutError	Bool	false
9	InOut		
10	<Add new>		
11	Static		
12	K1	"fbValve_Solenoid"	
13	K2	"fbValve_Solenoid"	
14	K3	"fbValve_Solenoid"	
15	M1	"fbMotor_Reversing"	
16	AnalogValve	"fbValve_Analog"	
17	Level	"fbIO_AnalogInput"	
18	rOutAnalogValve	Real	0.0
19	rInAnalogValve	Real	0.0
20	iTemper	Int	0
21	wTempRez	Word	16#0
22	wTemp	Word	16#0
23	unipolar	Bool	false

Рис. 6.7 Інтерфейс fbProc



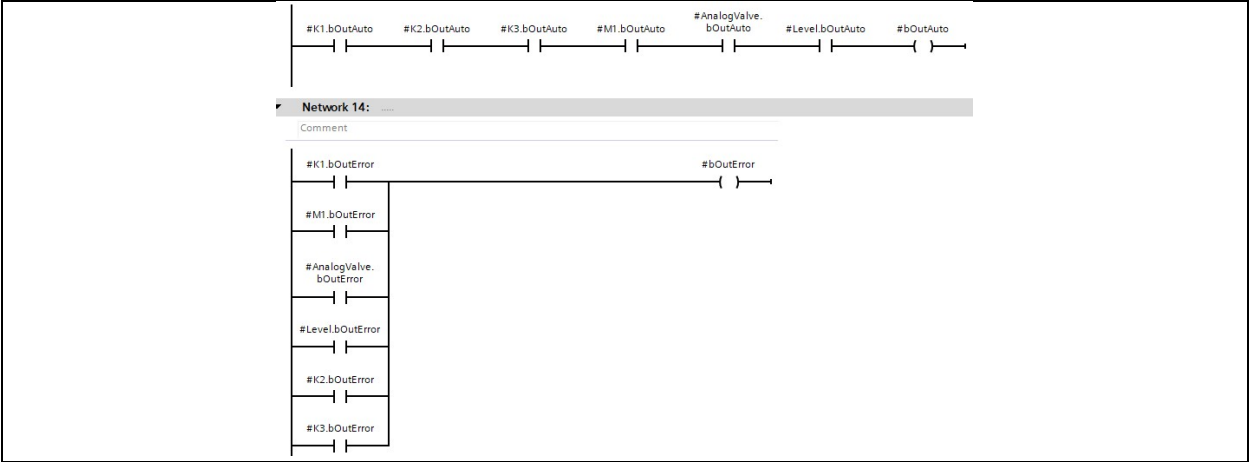


Рис. 6.8 Фрагменти підпрограми fbProc

Далі складемо підпрограму автоматичного пуску та зупинки обладнання fbAutoRun, яка базується на алгоритмах, розроблених у розділі 4.

fbAutoRun			
	Name	Data type	Default value
1	Input		
2	binEnableStart	Bool	false
3	binNotError	Bool	false
4	Output		
5	bOutAutoRunning	Bool	false
6	InOut		
7	<Add new>		
8	Static		
9	bAutoRun	Bool	false
10	bAutoStop	Bool	false
11	bPID	Bool	false
12	bK1	Bool	false
13	bM1	Bool	false
14	bK2_3	Bool	false
15	Sbros	Bool	false
16	Timer1	IEC_TIMER	
17	Timer2	IEC_TIMER	
18	Timer3	IEC_TIMER	
19	Timer4	IEC_TIMER	

Рис. 6.9 Інтерфейс fbAutoRun

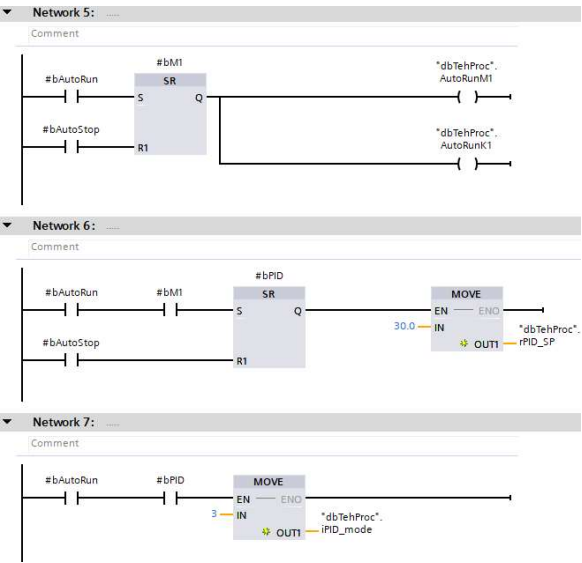


Рис. 6.10 Фрагмент програми fbAutoRun

Виклик на виконання підпрограм fbProc та fbAutoRun здійснюється в програмі Master.

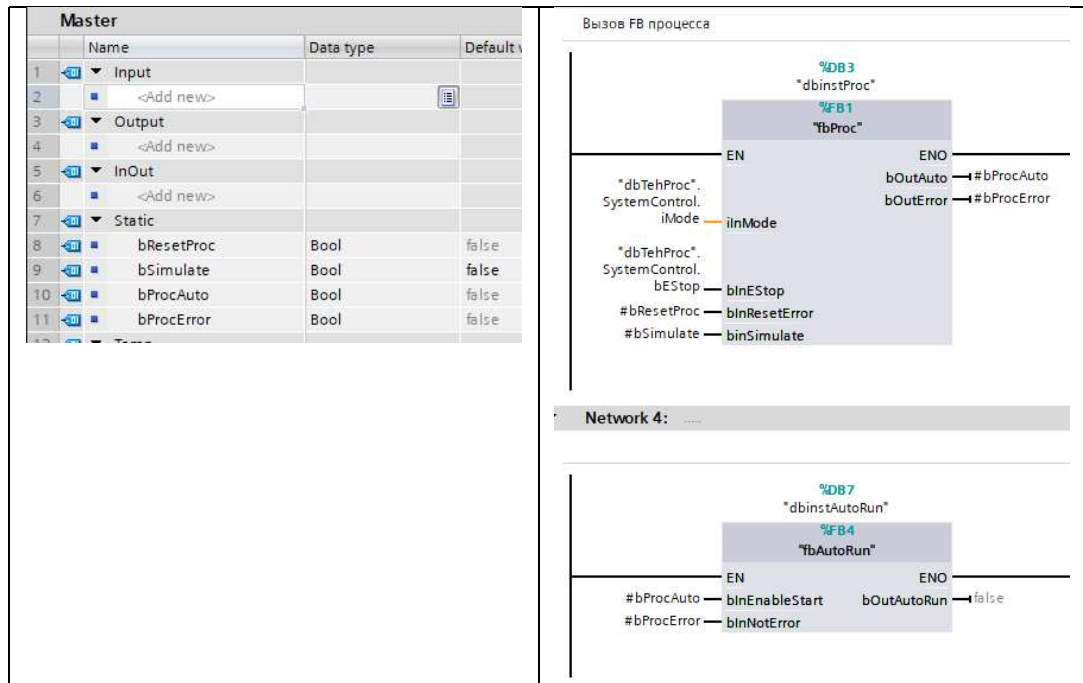


Рис. 6.11 Интерфейс та текст програми Master

6.3 Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК

Модель САР реалізована у функціональному блоці fbSAR, розрахунок якого виконується кожну 0.1 сек в організаційному блоці OB30. Необхідність використання саме організаційного блока OB30 зумовлена вимогою до точного визначення кроку квантування при розрахунках керуючого впливу.

Модель САР запрограмована з використанням функціональних блоків типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSsm_Lagging і FB LSim_I), що формують модель ОК, і типових регуляторів fbPID_Compact.

Network 2: ---
Models OK

The diagram illustrates a process flow involving four main functional blocks:

- ADD Auto (Real)**: Receives inputs `dbTehProc` and `rOuAnalogValve`. It has an output `rAdd`.
- #Zap1**: Receives input `rAdd` and produces output `0.0`.
- #ApZveno1**: Receives multiple inputs (including `false`, `11.0`, `1.0`, `0.1`, `100.0`, and `-100.0`) and produces corresponding outputs.
- #IntZveno1**: Receives inputs (including `false`, `100.0`, and `-100.0`) and produces outputs (including `false`, `100.0`, and `-100.0`).

Additional labels and connections include `#dUdelayCycles1`, `delayCycles`, `calcParam`, `status`, `maxReached`, `minReached`, `cycle`, `maxOut`, `minOut`, `reset`, `error`, `temp`, `intLag1`, `ActualInput`, and `Control`.

#PID_reg	
%FB196	
"fbPID_Compact"	
EN	ENO
"dbTehProc".SystemControl.iMode	bOutAuto → #bTemp bOutError → #bTemp diOutErrorCode → #diTemp
"dbTehProc".SystemControl.bEStop	PIDB2.DBX10.0 ERROR_PID → "dbErrors".Er_PID
0	
"dbTehProc".rPID_SP	
"dbTehProc".PID_Control.rActualInput	
16#0	
0.0	
false	
"dbTehProc".iPID_mode	
"dbTehProc".bStart_PID	
"dbTehProc".SystemControl.bPB_ResetError	
"dbTehProc".PID_Control	
%DB6	
"DB_PID_Compact"	

Рис. 6.14 – Фрагмент програми, що реалізує ПД-регулятор

Налаштування параметрів ПІД-регулятора проводимо через його блок даних, що знаходяться в розділі Technology objects в дереві каталогу проекту.

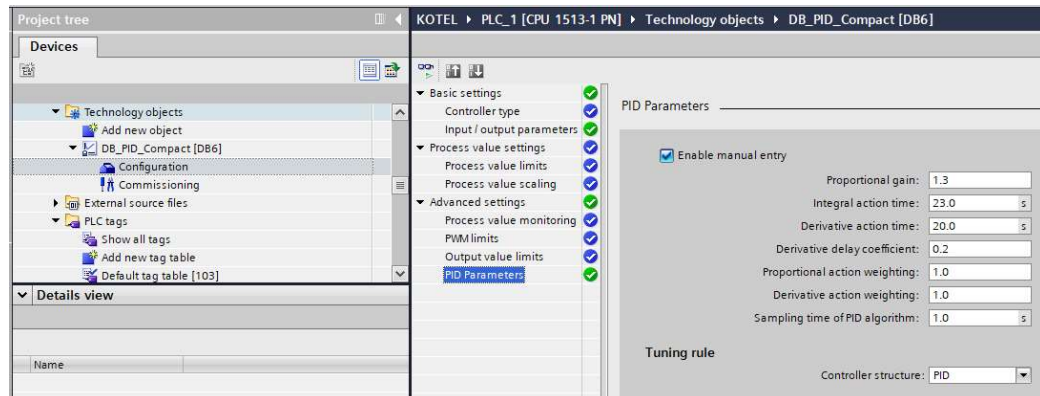


Рис. 6.15 Приклад налаштування параметрів ПІД-регулятора

Тестування проекту проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM, в яку завантажується розроблений проект.



Рис. 6.16 Вигляд вікна програми PLCSIM

Результати тестування підтвердили правильність роботи програми, відповідно до вимог алгоритму керування. На рисунку 6.16 представлений загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.

Висновок

В результаті виконання даного розділу були вивчені основні характеристики контролерів фірми Siemens сімейства S7-1500 та принципи їх програмування.

Отримано навички використання документації виробника, правильного вибору необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500.

Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання.

7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ
ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК

7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панелью оператора, її
конфігурування

Для організації зв'язку вибираємо тип сполучення «HMI connection» та
встановлюємо унікальні адреси технічних засобів в мережі PROFINET.

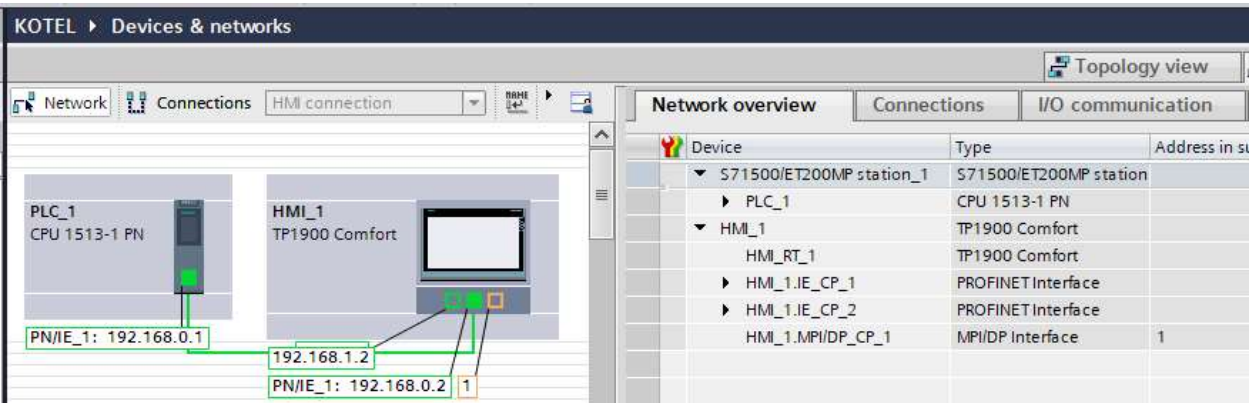


Рис. 7.1 Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх
сполучення в мережі

Конфігурування панелі оператора TP 1900 Comfort виконуємо в розділі
HMI_1/Runtime settings дерева каталогу проекту.

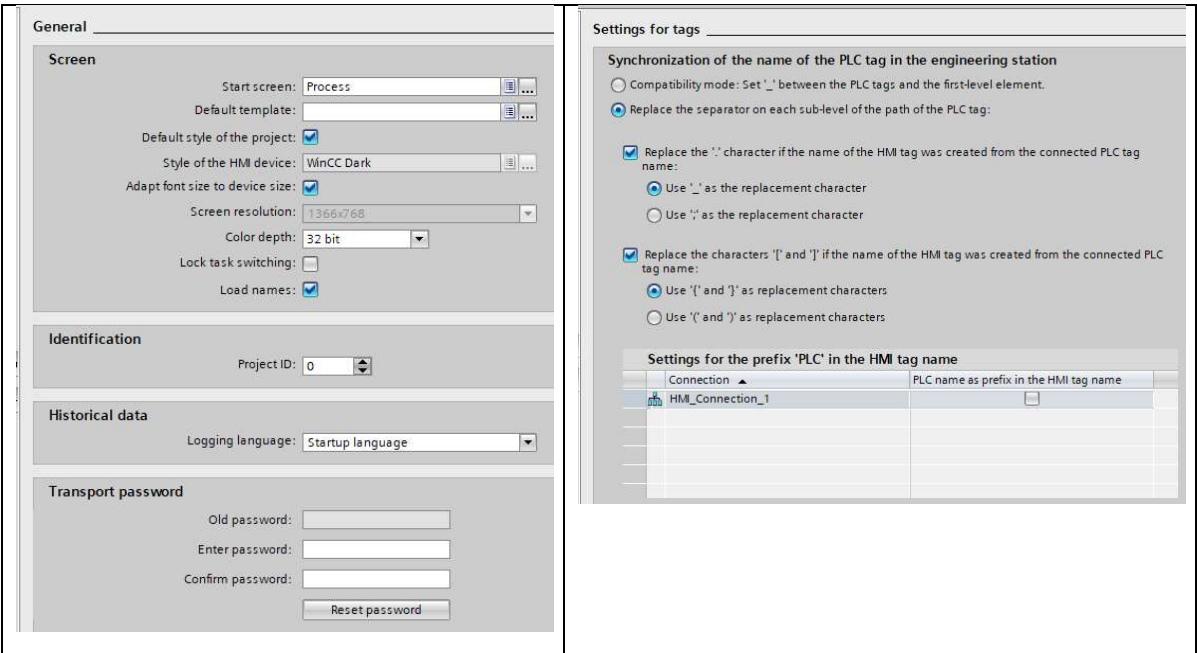


Рис. 7.2 Конфігурування TP 1900 Comfort

Щоб пов'язати між собою теги ПЛК та HMI, створюємо таблицю HMI-тегів Default tag table, куди за допомогою миші перетаскуємо складові блоку даних ПЛК dbTechProc.

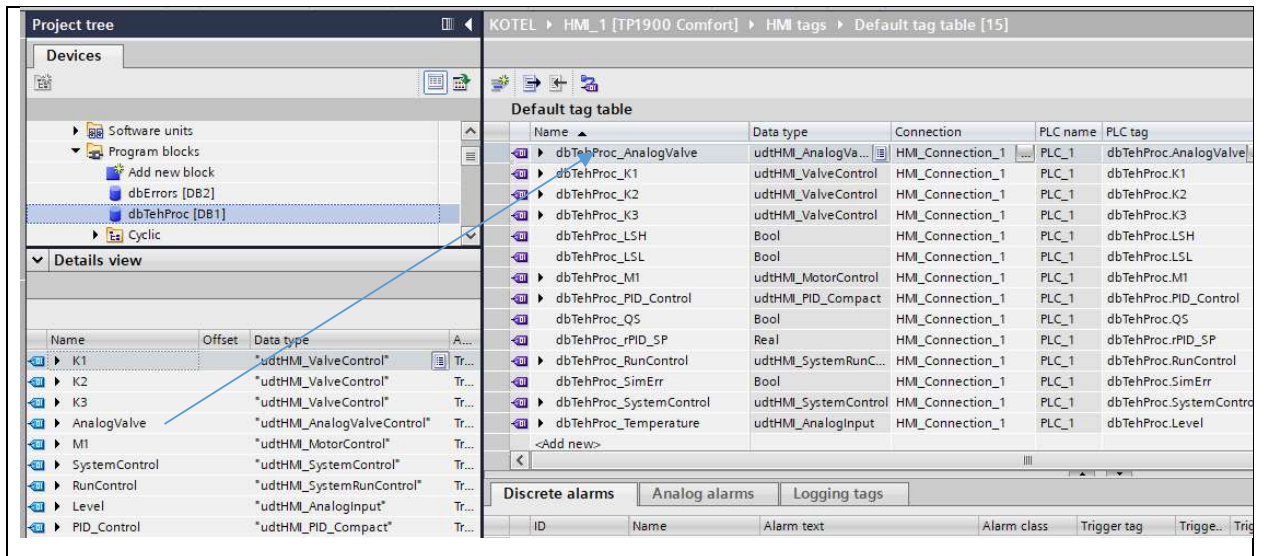


Рис. 7.3 Приклад створення таблиці HMI-тегів

В подальшому завдяки цьому взаємозв'язку зміни в змінних ПЛК будуть відображатися в елементах HMI.

7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.

Структура екранів АРМ оператора-технолога повинна містити в собі екрани для керування процесом копчення риби:

- екран схеми установки для управління технологічним процесом;
- екран для спостереження за регульованими змінними;
- екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу технологічного агрегату.

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

- екран схеми установки надає функції управління виконавчим механізмом та електродвигунами, як в автоматичному режимі, так і в ручному;

екран для спостерігання за регульованими змінними надає можливість спостерігати за графіками в реальному часі, змінювати задане значення та налаштування регулятора;

екран для відтворення діагностичних повідомлень надає можливість бачити повідомлення про несправності, а також переглядати повідомлення, які зберігаються в архіві.

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.

Шаблон екранів.

Шаблон екранів Template_1 створюється в розділі Screen Management дерева каталогу проекту в розділі НМІ командою Add new template. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону будуть присутні на всіх екранах, які входять в проект.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикавання екранів АРМ. Він включає елемент відображення поточної дати і часу, назву проекту, прізвище розробника проекту. Для їх створення із розділу Toolbox проекту використаємо інструменти редагування Text field та Data/Time field, які за допомогою миші встановимо на екрані шаблону.

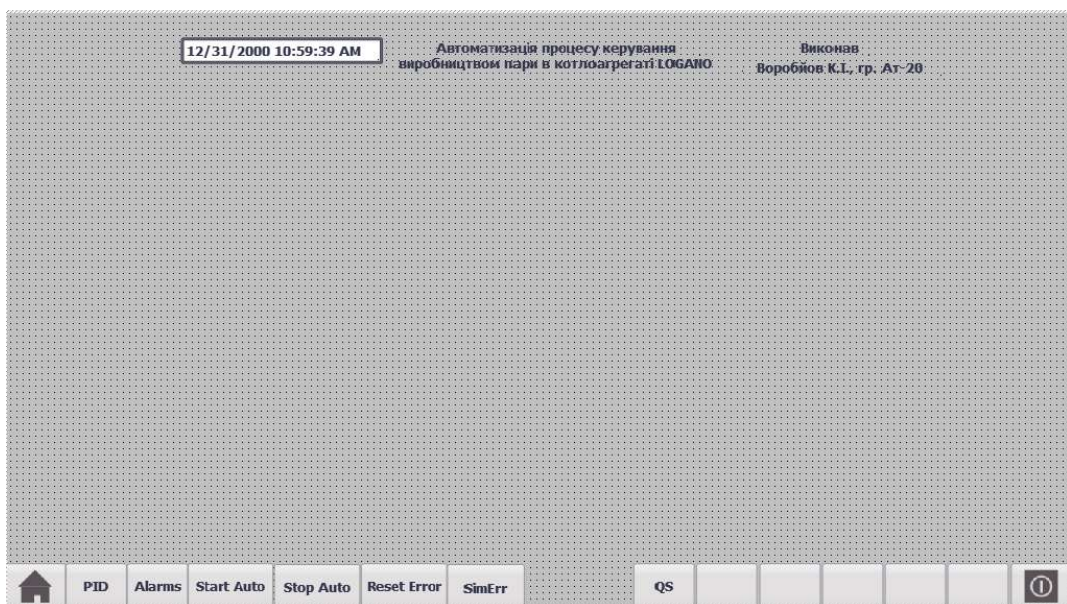


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. За допомогою миші перемістимо інструмент редагування Button із розділу Toolbox на екран шаблону. Для перемикання вікон використовуються спеціальна системна функція ActivateScreen, яку слід пов'язати із властивістю Events кожної кнопки, вказавши ім'я екрану.

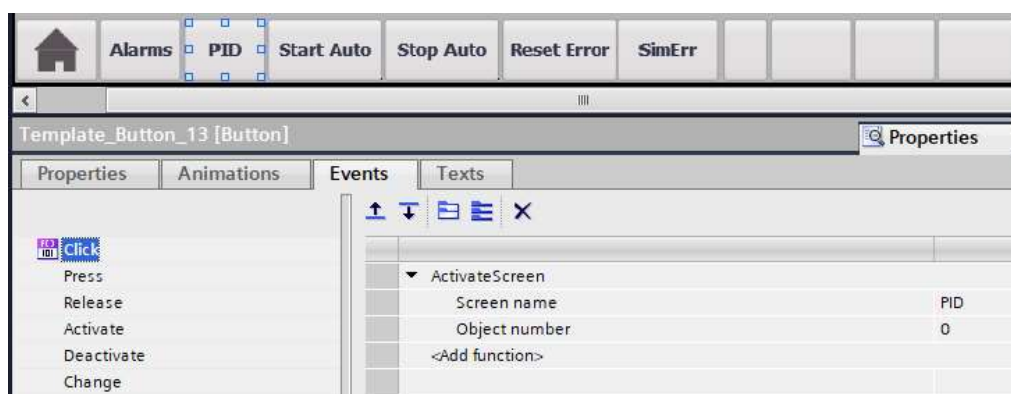


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

Для кожної одиниці обладнання спочатку за допомогою команди Add new pop-up screen створюємо пусті спливаючі вікна Pop-up screens, а потім заповнюємо їх відповідними зображеннями з розділу бібліотеки SOL (див. рис. 7.6).

У властивостях Properties кожного спливаючого вікна на вкладці Interface встановлюємо взаємозв'язок із тегом НМІ, який буде забезпечувати динамізацію зображення вікна та можливість керування оператором станом електроприводів та клапанів, а також на вкладці Events вказуємо системну команду ShowPopupScreen (див. рис. 7.7).

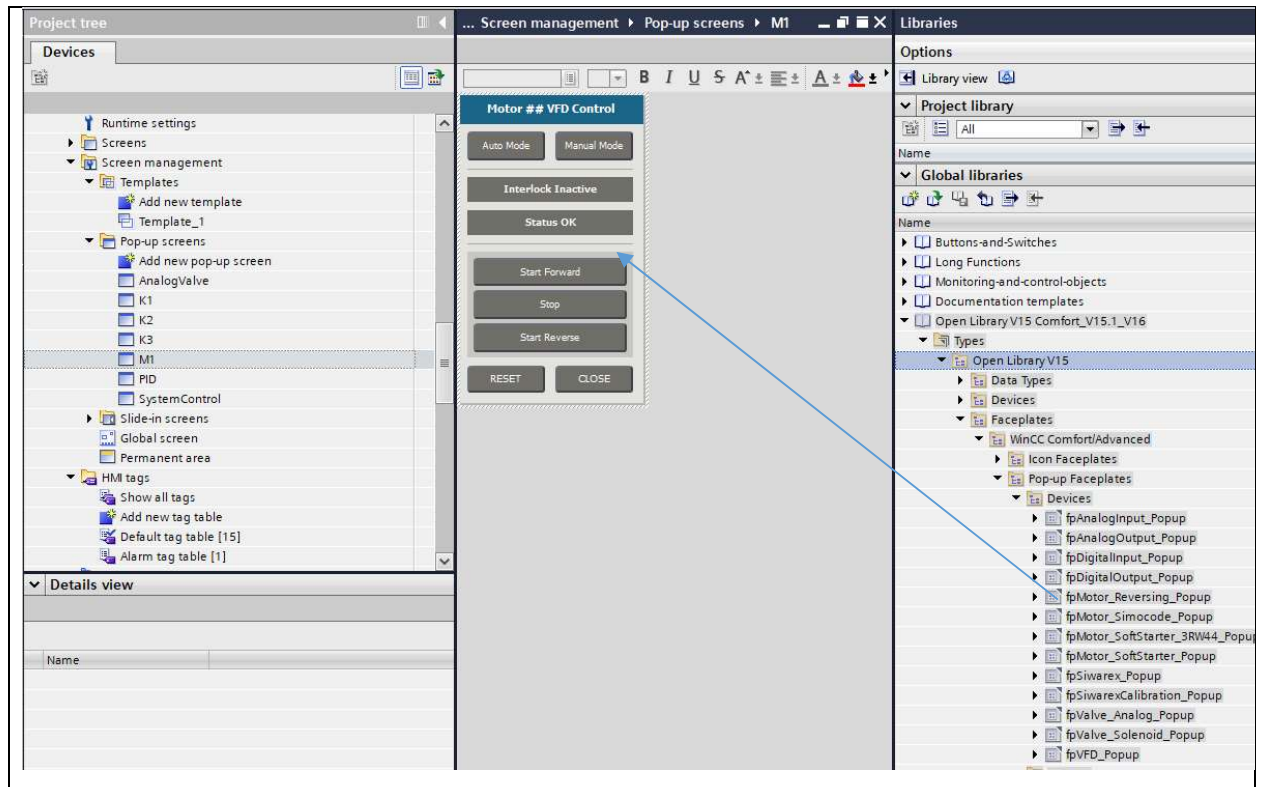


Рис. 7.6 Приклад створення спливаючих вікон для керування електроприводом

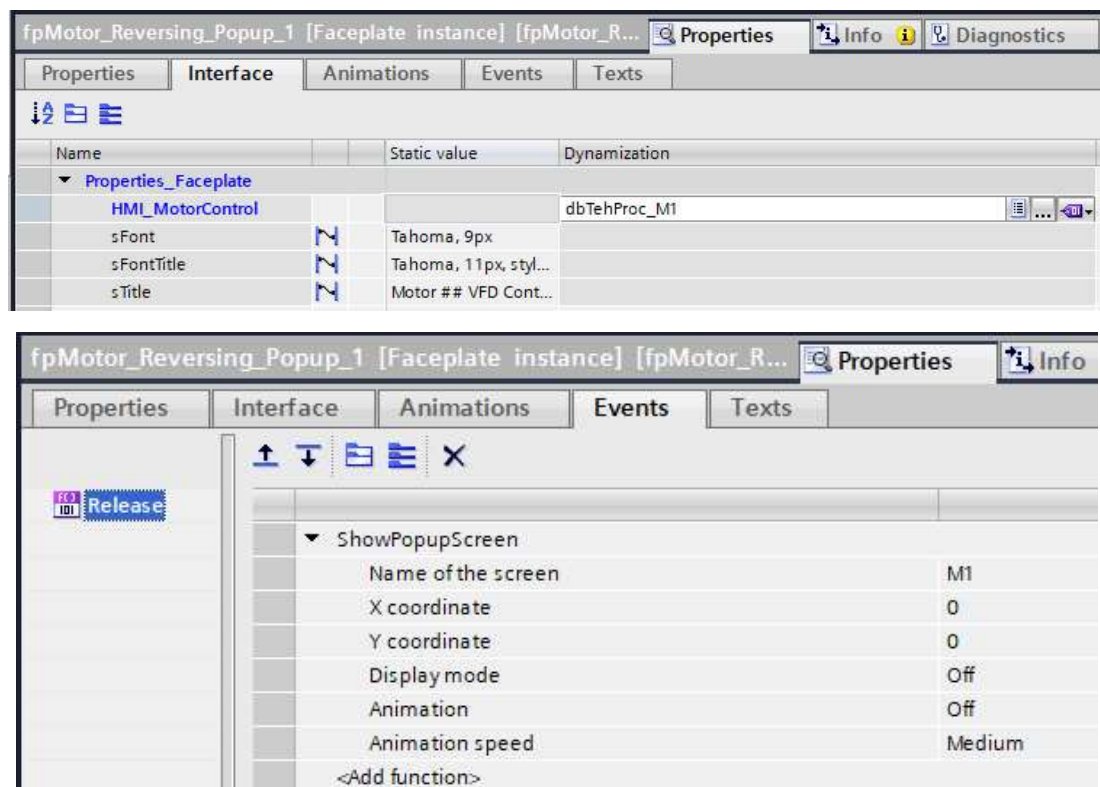


Рис. 7.7 Приклад визначення параметрів вспливаючого вікна

Основний екран Process містить схематичне зображення системи коптіння риби з нанесеними на нього елементами відображення і управління. Зображення створено в графічному редакторі TIA Portal з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і управління дозволять оператору контролювати стан обладнання системи і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням системи. Для цього на проекцію екрану Process переносимо за допомогою миші з відповідного розділу бібліотеки SOL піктограми обладнання.

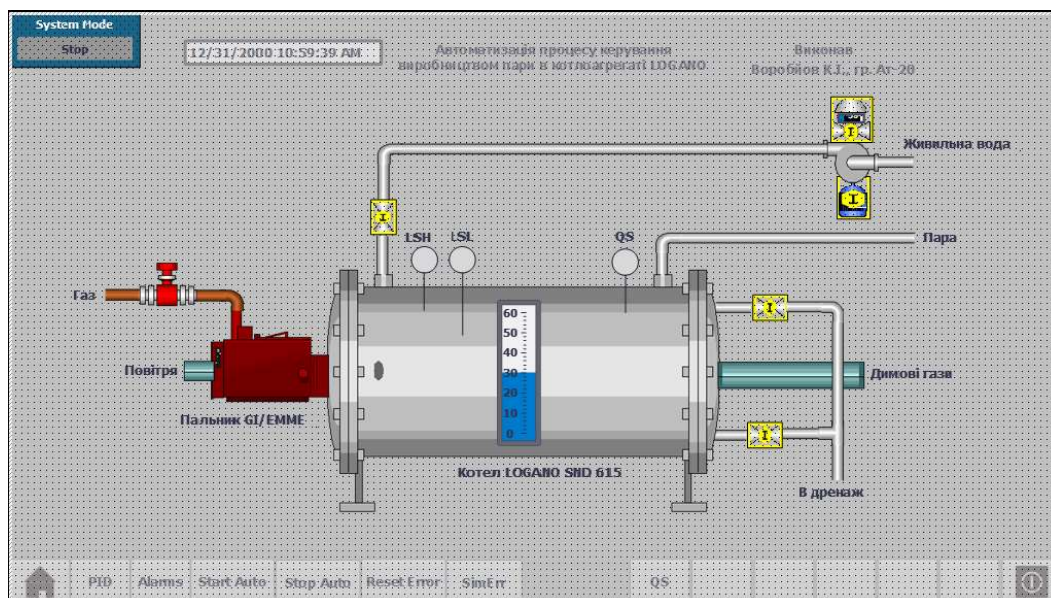


Рис. 7.8 Екран схеми установки Process

Кожну піктограму (Faceplate instance) пов'язуємо із відповідним тегом та спливаючим вікном. Натискання на зображення піктограми забезпечить відкривання зображення відповідного спливаючого вікна конкретної одиниці обладнання, оскільки у властивості Events піктограми вписано виконання системної функції ShowPopupScreen (рис. 7.9).

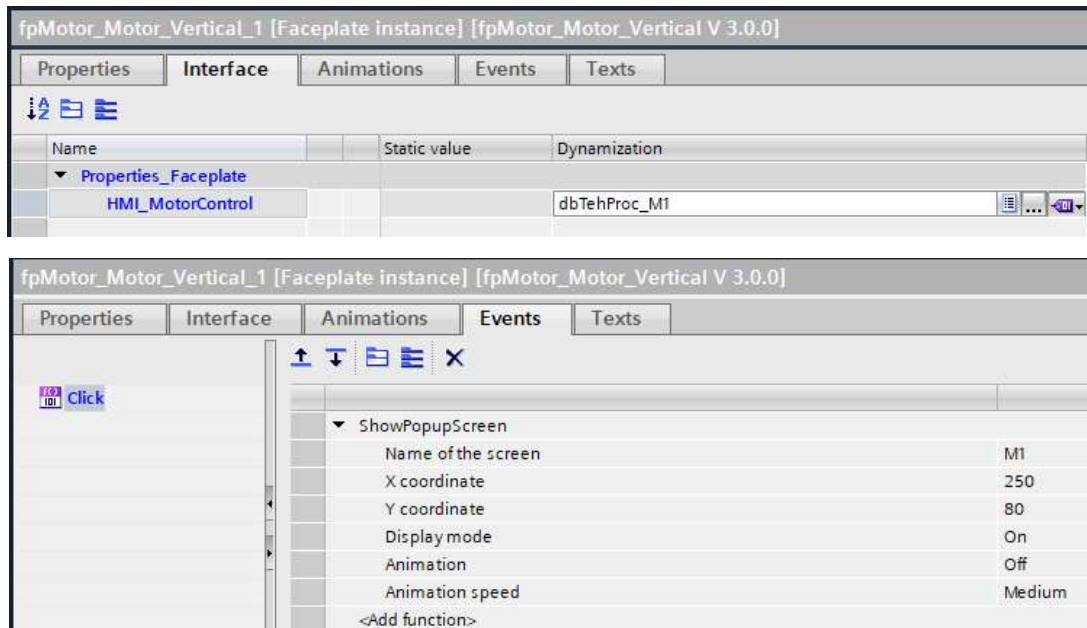


Рис. 7.9 Приклад налаштування піктограми електроприводу

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів та налаштування параметрів ПІД-регулятора в проєкті передбачений екран PID (рис. 7.10), який може бути використаний наладчиком САК.

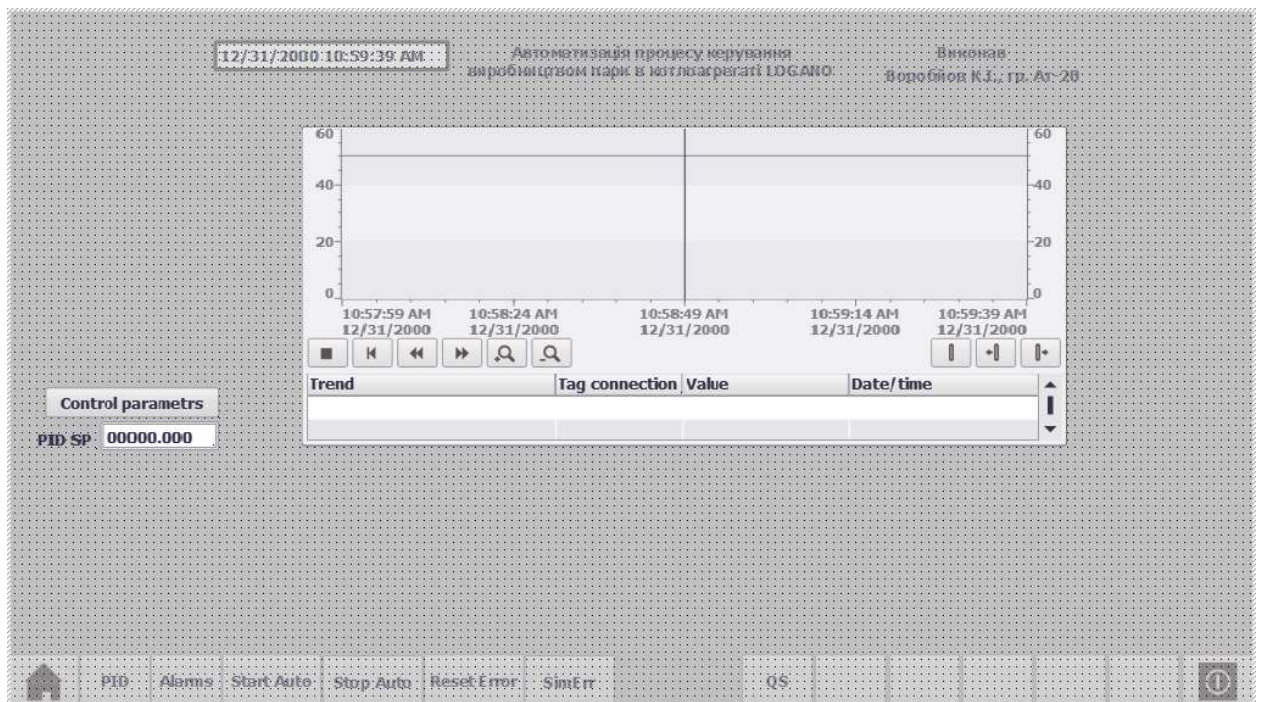


Рис. 7.10 Екран графіків

Для побудови графіків зміни рівня в котлі використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.11.

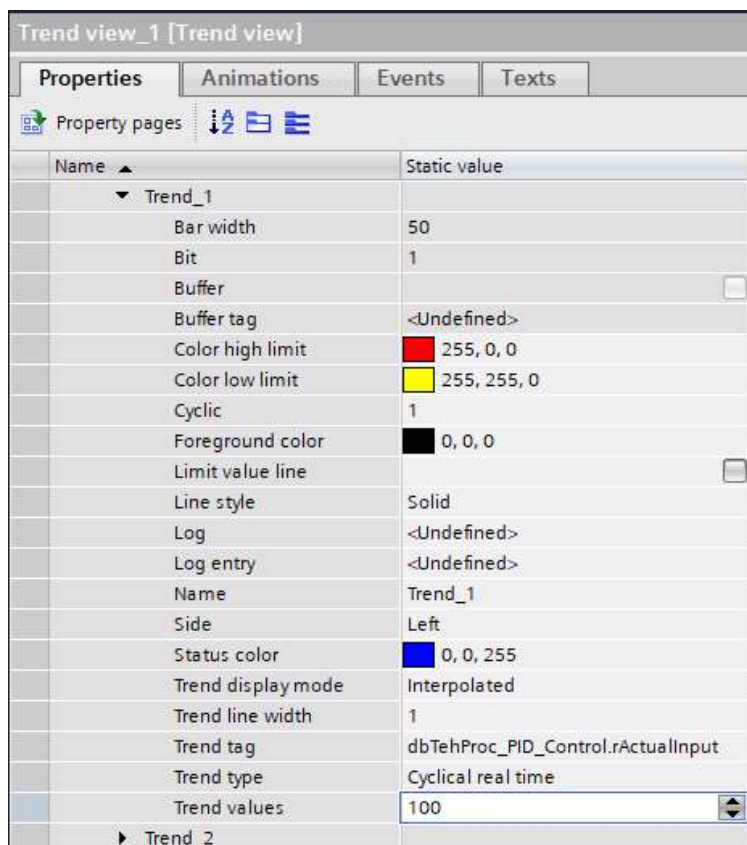


Рис. 7.11 Вікно налаштування елементу Trend

Виклик спливаючого вікна налаштування параметрів ПІД-регулятора здійснюється натисканням кнопки Control parametrs на екрані.

Змінити задане значення контуру регулювання можна за допомогою вікна вводу/виводу PID SP.

Налаштування цих елементів відображення показано на рис. 7.12.

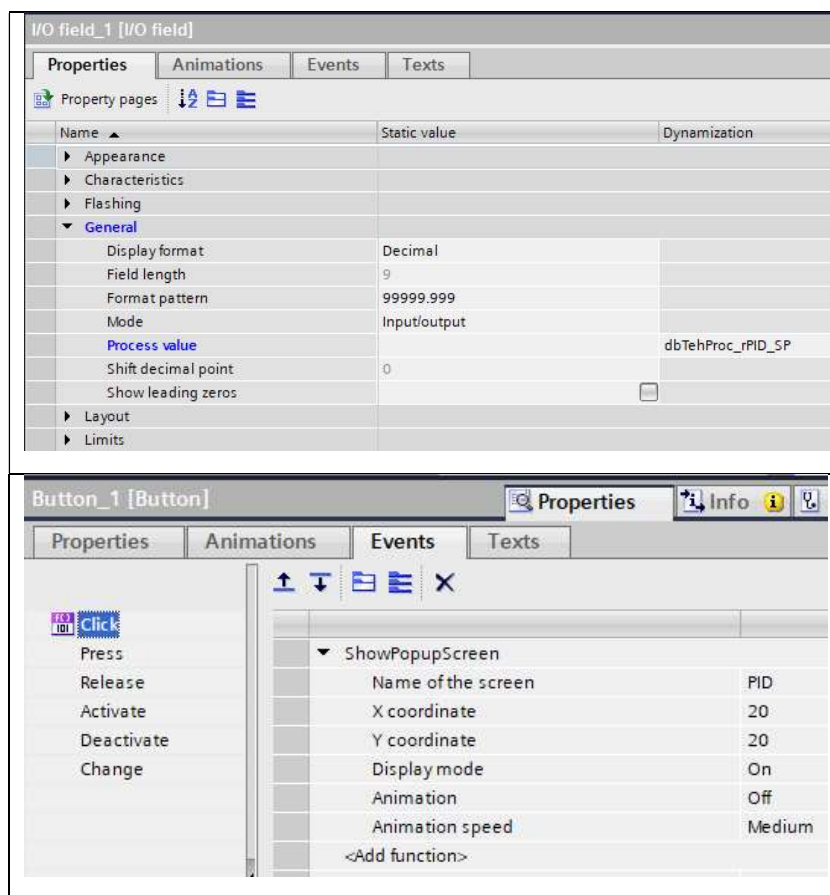


Рис. 7.12 Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і виникнення подій (Alarm) з обладнанням установки в проекті створена система повідомлень. Вона включає повідомлення від програми користувача і системні повідомлення ОС ПЛК. Повідомлення від програми, розділяються на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечні робочі стани та заносяться в архів.

В програмі користувача в ПЛК функціональні блоки, які обслуговують одиницю обладнання, формують інформацію про події в 16-бітному слові (тип Word). Кожному виду несправності відповідає певний біт. Ці слова потім збираються в програмі ПЛК в окремий блок даних dbErrors.

Далі теги з цього блоку даних пов'язуємо з 16-бітними тегами НМІ (рис. 7.13).

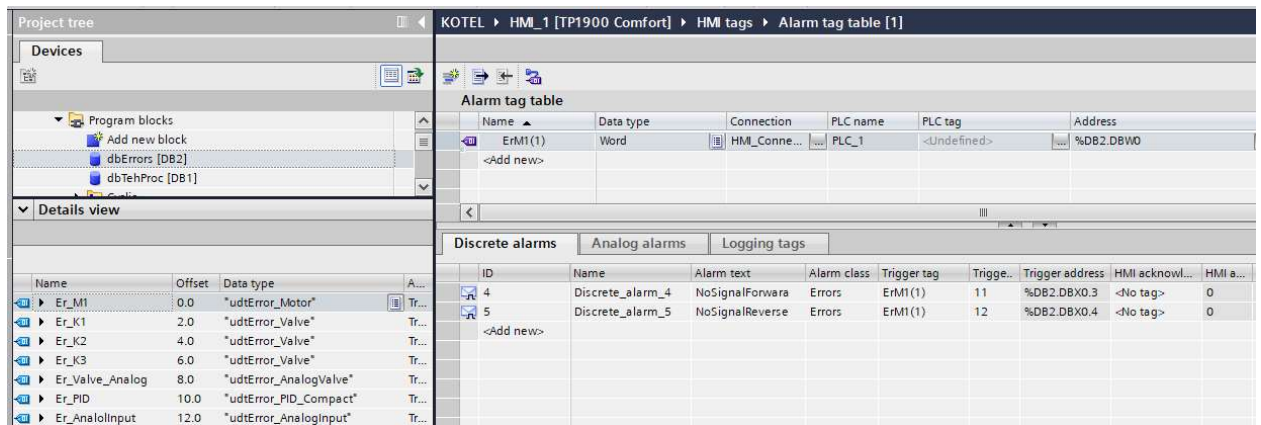


Рис. 7.13 Приклад прив'язки тегів dbErrors з HMI-тегами

Кожний біт HMI-тега з Alarm tag table сортуємо по типам та по класам Errors або Warnings (див. рис. 7.13). Кожному з цих бітів відповідає своє повідомлення (Alarm text).

Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран Alarms.

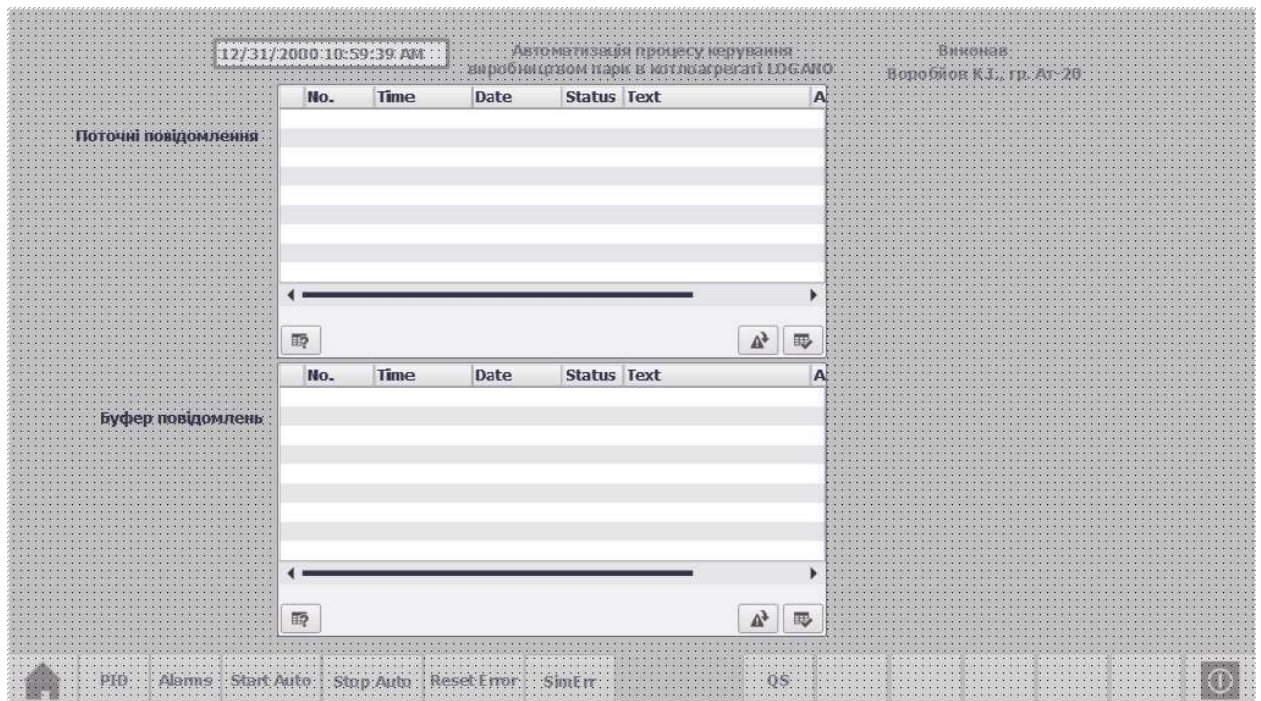


Рис. 7.14 Екран Alarms повідомлень про несправності

Вивід повідомлень на екран виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень.

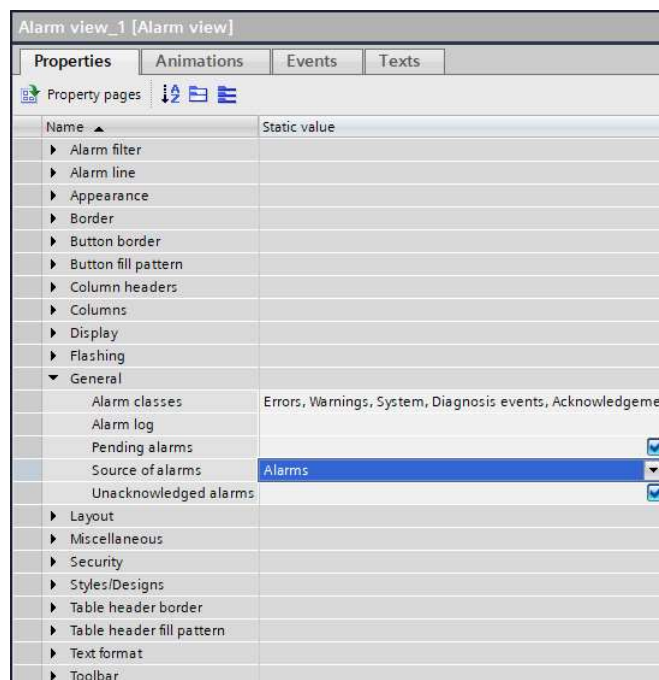


Рис. 7.15 Налаштування властивостей елементу Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.5 Тестування системи керування.

Тестування проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовище якої завантажуюмо частину проекту PLC_1 після його компіляції.

Відображення екранів виконується в режимі симуляції в середовищі WinCC Runtime Advanced, куди після компіляції завантажуюмо частину проекту HMI_1.

В залежності від вимог виробництва оператор має змогу налаштувати систему на режими: стоп, ручний, автоматичний, індивідуальний.

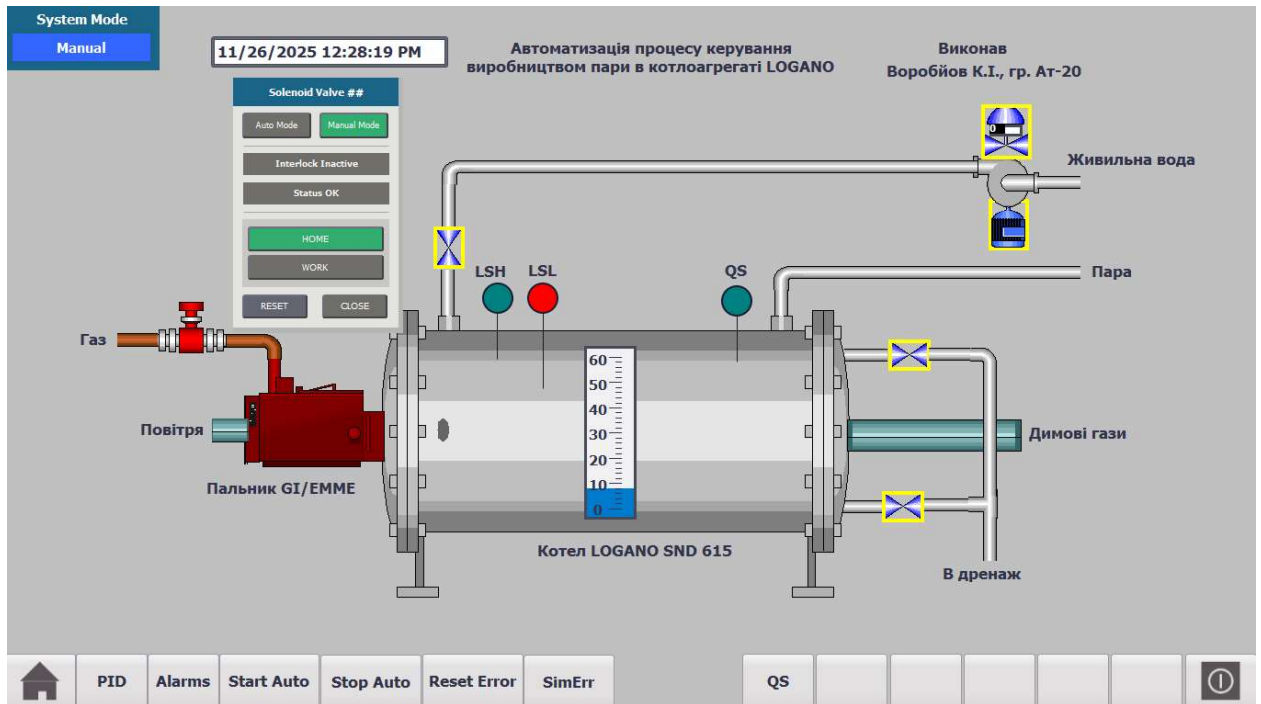


Рис. 7.16 Схема установки в ручному режимі

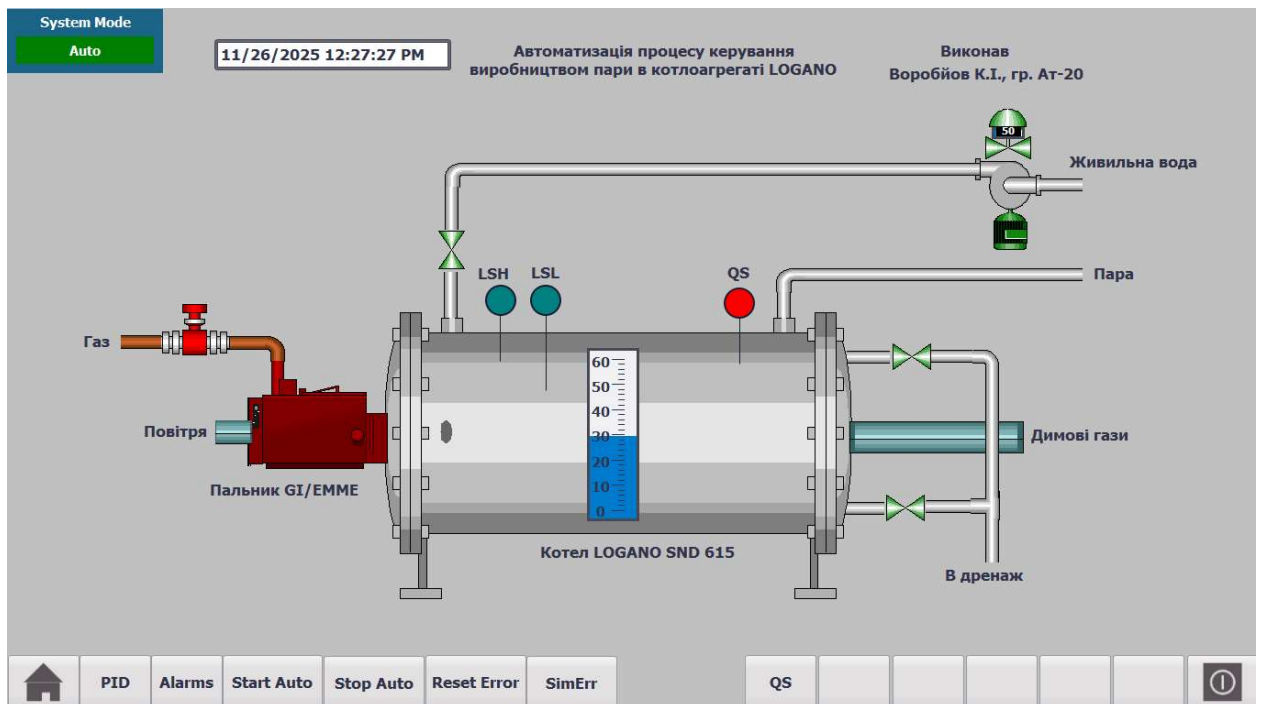


Рис. 7.17 Схема установки в автоматичному режимі

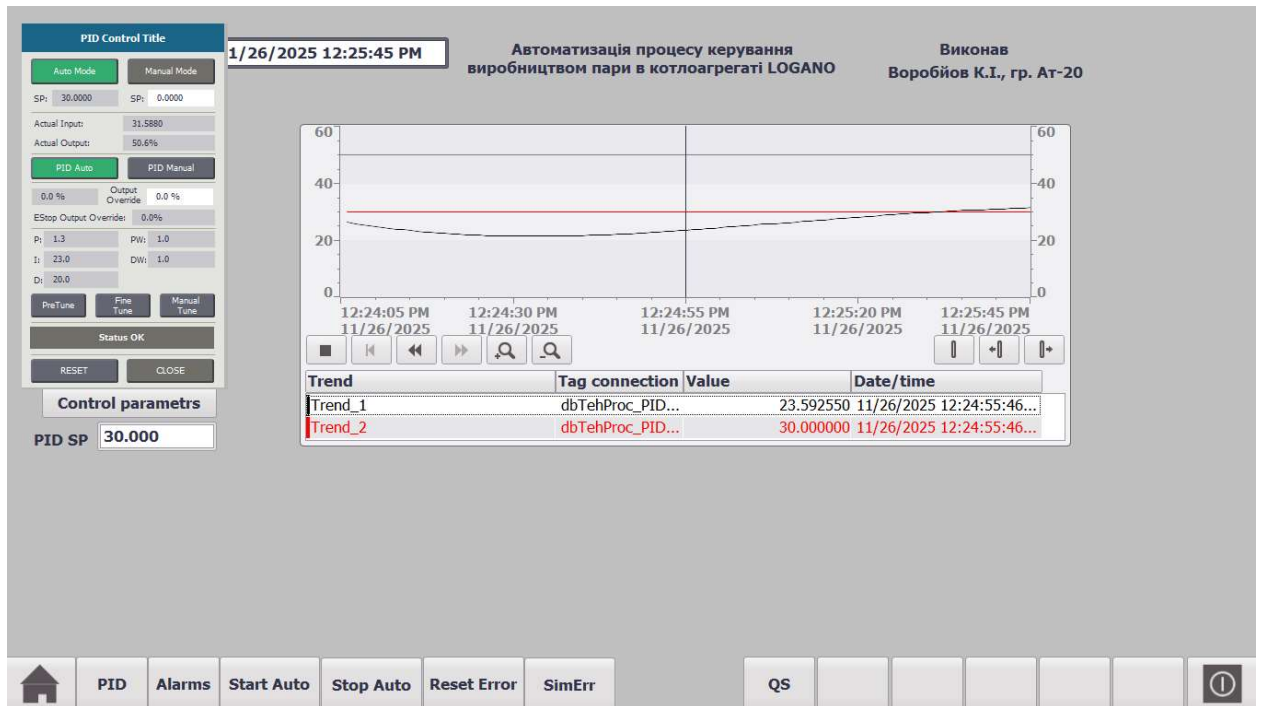
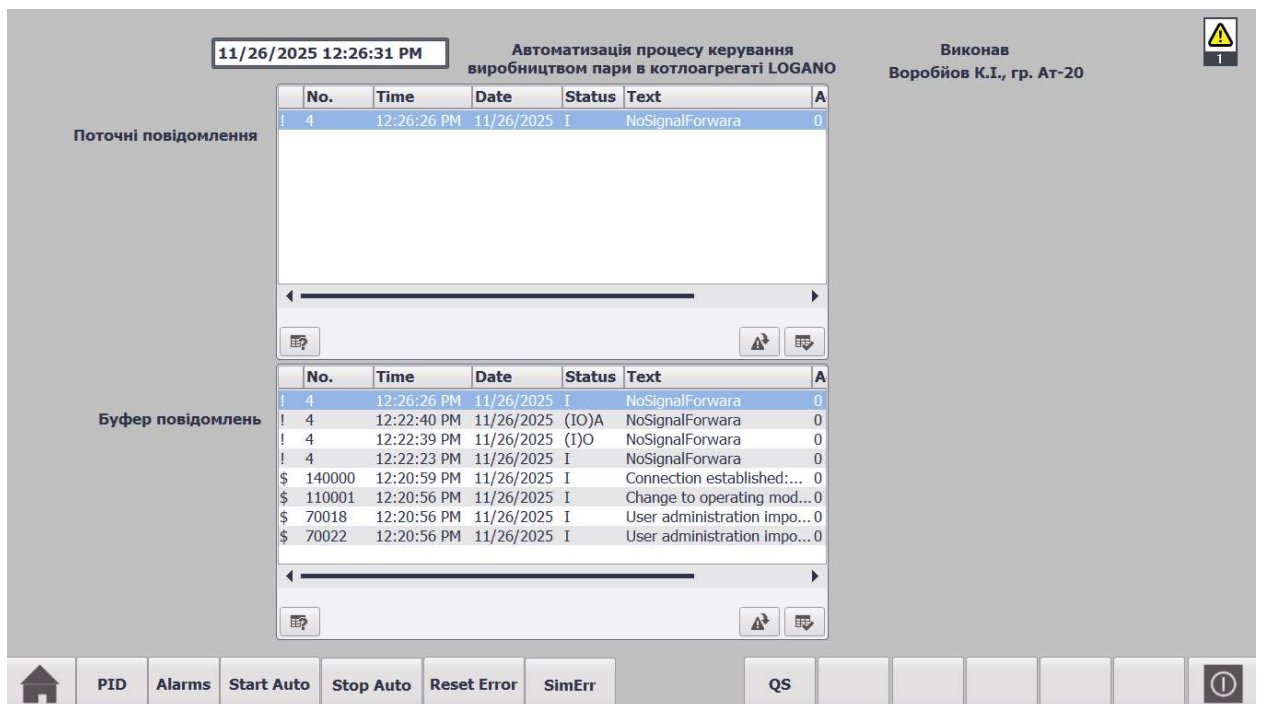


Рис. 7.18 Екран PID в тестовому режимі

Рис. 7.19 ЕкранAlarms в тестовому режимі
при імітації несправності

Висновок: у цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом копчення риби. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування, які може використати в своїй роботі наладчик САК.

Тестування системи в цілому продемонструвало її роботоспроможність у всіх режимах роботи.

8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ САК ТА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень

Основна вимога до ефективного процесу виробництва пари полягає в підтримці рівня котлової води.

Елементи керування та живлення електроприводів встановлюються в силовій шафі (SS) на DIN-рейку 35 мм. Шафа автоматики (SA) знаходиться у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площі цієї шафи встановлюють ПЛК та елементи живлення до нього, а на фасадній двері – панель оператора. Таке технічне рішення дозволяє зменшити вплив струмів, які протікають по силовим кабелям, на роботу ПЛК і панелі оператора. Датчики та виконавчі механізми розміщені на об'єкті керування (ОВ).

За результатами вибору комплексу технічних засобів і відповідно до складеної технічної структури системи керування розроблено комплект її проектної документації. Комплект включає наступні документи:

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему (ПЕС) керуванням електроприводом із живленням від перетворювача частоти;
- 3 – ПЕС живлення;
- 4 – схему мережевих зв'язків;
- 2 – ПЕС підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 3 – ПЕС підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 4 – ПЕС підключення до блоку аналогових входів ПЛК;
- 5 – ПЕС підключення до блоку аналогових виходів ПЛК.

Текстові:

- попередній перелік обладнання до всіх графічних документів;

– пояснювальна записка до проекту.

Центральний процесор CPU 1513, що реалізує основні функції контролю та регулювання, оснащений інтерфейсом PROFINET.

Всі модулі вводу/виводу серії SIMATIC S7-1500 та CPU монтуються на DIN-рейку 35 мм в шафі автоматики. Вони використовуються для отримання інформації з датчиків безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми для підтримки регламентних значень регульованих змінних, а також передачі даних на панель оператора. CPU та модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

- прийом і дешифрацію команд по мережам PROFINET;
- введення, фільтрацію й нормалізацію аналогових сигналів входу та виходу – модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00-0AB0) та модуль AO 2xU/I/6ES7 (532-5NB00-0AB0);
- опитування стану дискретних входів - модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) та вивід із дискретних виходів сигналів керування - модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0).

Взаємодія контролера і панелі оператора здійснюється по мережі PROFINET. Для керування застосовується панель оператора TP1900 Comfort (6VA2 124 OUC02-0AX1), на якій встановлена система виконання SCADA WinCC Comfort, що призначена для оперативного контролю, сигналізації, реєстрації параметрів.

8.2 Розробка схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й що роз'ясняє певні процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до ДСТУ ISO 14617-6:2018 «Графічні умовні позначки для схем. Частина 6. Функції вимірювання та керування». Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування виконує ПЛК сумісно з панеллю

оператора. Всі використані датчики вхідних сигналів обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20mA DC), вихідні аналогові сигнали напруги (0...10 V DC) і сприймаються виконавчими механізмами.

Розглянемо перелік контурів контролю й керування, які наведені на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

- 1 – 3 керування та контроль стану відсічними клапанами LV1-LV3;
- 4 – контроль і регулювання рівня води в котлі;
- 5, 6 - контроль критичних рівнів води в котлі – верхнього та нижнього;
- 7 – контроль електропровідності води в котлі.

У контурах 1 - 3 керування приводами клапанів передбачені функції місцевого керування, які реалізуються за рахунок технічних засобів, що розміщені у силовій шафі, функції дистанційного керування з панелі оператора та функції автоматичного керування у часі по програмі в ПЛК.

У контурі 4 реалізована система контролю та регулювання рівня води в котлі. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика рівня з уніфікованим перетворювачем LY/4 пропорційний рівню сигнал струму 4...20 mA DC подається на регулятор LC/4, який формує керуючий вплив у вигляді 0...10 V DC, що подається на перетворювач частоти SC/4. Регулятор програмно реалізований в ПЛК. В контурі передбачена функції ручного задатчика і індикації регульованої змінної НІС/4, які реалізовані в панелі оператора.

В контурі 7 сигнал від датчика-реле електропровідності води в котлі QS/7 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК і дозволяє сформувати функції індикації, сигналізації QIS цього параметру, а потім керуючий вплив на приводи клапанів LV2, LV3.

У додатку А наведені схема автоматизації та перелік приладів та засобів, які використані в цій схемі.

8.3. Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом від перетворювача частоти

Всі компоненти схеми розміщуються в силовій шафі SS. Дана ПЕС забезпечує місцеве і дистанційне керування. Живлення електропривода М1 здійснюється від мережі типу TN через запобіжники F1, клема контактора КМ3, перетворювач частоти SC1, кабель W6 та вимикач ОВ-Q3.

Місцеве керування електроживленням котушки контактора КМ3 здійснюється від фази L1 завдяки використанню автоматичного вимикача Q5 та кнопки Стоп S5. Перемикання в дистанційний режим здійснює перемикач S6. Керуючі сигнали Start VFD та квітування помилки від модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) контролера подається по кабелю W6. По цьому ж кабелю подається аналоговий сигнал 0...10 V DC керування частотою обертів електропривода М1 від модуля АО 2xU/I/6ES7 (532-5NB00-0AB0).

Стани К4, S6, К6 у вигляді сигналів 24 V DC подаються до дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0).

8.4. Розробка принципової електричної схеми живлення

Дана схема забезпечує живлення модулів ПЛК і панелі оператора. Всі її компоненти розміщуються в силовій шафі SS. Живлення здійснюється від фази L1 через автоматичний вимикач Q4 та блок безперебійного живлення UPS. До його виходів через автоматичні вимикачі Q6, Q7 підключені два джерела живлення G1, G2 220 V AC/ 24 V DC, які забезпечують напругу живлення для модулів ПЛК і панелі оператора. Вихідні ланки G1, G2 захищені від режиму «короткого замикання» запобіжниками F2, F3.

Освітлення в шафі забезпечує лампа Н2, яка отримує живлення від фази L1 через кнопку S7. В шафі передбачена розетка REC1, яка отримує живлення від фази L1 через диференційний вимикач Q5.

8.5. Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК

До дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) по кабел. W 6, що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування. По кабелям W1, W2, W8 що підключаються до клем SA-X1, передаються сигнали від датчиків-реле рівня LSH/5, LSL/6 та електропровідності QS/7 води в котлі.

На дискретних виходах модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелям W4, 5, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводом M1. Також до виходу модуля дискретних виходів підключаються проміжні реле LV1... LV3, для керування відповідними відсічними клапанами.

Модуль аналогових входів AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00-0AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. До його аналогових входів за допомогою екранованого кабелю W10, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики рівня води в котлі з уніфікованим виходом 4...20 mA DC LV4.

Модуль аналогових виходів AO 2xU/I/6ES7 (532-5NB00-0AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. Аналоговий вихід цього модуля формує сигнал 0...10 V DC, які за допомогою кабелю W6, що підключаються до клем SA-X1, передає сигнал керування на перетворювач частоти.

У додатку Б наведені ПЕС підключення до модулів ПЛК та перелік приладів, що в них використані.

8.6 Охорона праці

У межах даного підрозділу проведено ідентифікацію потенційно небезпечних та шкідливих виробничих чинників, що виникають під час експлуатації установки. Наведено їх гранично-допустимі концентрації та нормовані значення відповідно до діючих нормативних актів, а також проаналізовано можливі патологічні наслідки впливу на організм персоналу. Характеристика факторів, що супроводжують роботу системи автоматизації, представлена у таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
1.	Підвищена або знижена температура повітря робочої зони	21-24 °C	Стан втоми, перегрів або переохолодження організму
2.	Підвищена або знижена рухливість повітря	0,2-0,4 м/с	Простудні захворювання, перегрів організму
3.	Підвищена або знижена вологість повітря	65-75%	Ревматичні, алергічні, захворювання
4.	Недостатня освітленість робочої зони	КПО -1,2%,Е – 200 лк.	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
5.	Підвищений рівень шуму на робочому місці	80 дБА	Захворювання органів слуху
6.	Підвищений рівень вібрації на робочому місці	0,028 м/с x 10 ⁻² /75дБ (загальна вібрація); 2	Захворювання нервової системи

		м/с x 10 ⁻² /112 дБ (локальна вібрація)	
7.	Статичні перевантаження	-	Стан втоми
8.	Прямий і відбитий відблиск монітора	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
9.	Знижена контрастність	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
10.	Підвищений рівень електромагніт-ного випромінювання	10 Вт/м ²	Біохімічні зміни в організмі
11.	Підвищений рівень іонізації повітря	n+: 1500-3000 одиниць/см ³ ; n-: 3000-5000 одиниць/ см ³	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
12.	Канцерогенні, токсичні, мутагенні речовини (озон, оксид азоту, оксид вуглецю, толуол, ксилол, бензол, ізооктан тощо.)	Озон - 0,1 мг/м ³ ; оксид азоту – 5 мг/м ³ ; бензол – 15/5 мг/м ³ ; ксилол – 50 мг/м ³ ; толуол – 50 мг/м ³ ; оксид вуглецю – 20 мг/м ³ .	Біохімічні зміни в організмі
13.	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
14.	Локальні перенавантаження м'язів кистей рук	-	Тунельний синдром
15.	Монотонність праці	-	Стан втоми, головний біль

Категорії приміщень об'єкта автоматизації встановлені відповідно до раніше проведених розрахунків. Автоматизоване робоче місце (АРМ) передбачає взаємодію з панеллю оператора для моніторингу та дистанційного або автоматичного керування установкою. Система візуалізації на панелі використовує умовні позначення приладів, що змінюють колір залежно від стану, що дозволяє інженеру оперативно виявляти та усувати аварійні ситуації. Ергономіка АРМ забезпечується відповідністю санітарним нормам: фактична площа на одне місце становить 10,0 м² при нормі 6,0 м², а об'єм — 25,0 м³ при нормі 20,0 м³. Робоче місце укомплектоване стандартним столом, м'яким кріслом та РК-монітором, а природне освітлення забезпечується вікном з правого боку. Оператор виконує роботу в положенні сидячи, що за ступенем важкості класифікується як категорія 1а. Нормативи мікроклімату для даного приміщення наведено у таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Виробниче приміщення, період року, категорія роботи, що виконується, температура, відносна вологість, швидкість руху повітря

№ п.п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
1	Операторський пункт	Теплий	Легка 1а	23-25	40-60	0,1
№ п.п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
2	Операторський пункт	Холодний	Легка 1а	23-25	40-60	0,1

Зорова робота оператора відповідає розрядам Б-2 (робота з дисплеєм) та А-2 (робота з документацією). Нормовані значення освітленості досягаються за

рахунок комбінованої системи освітлення, світлого фарбування стін та регулярного очищення вікон. Характеристики освітлення представлені у таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення

№	Виробниче приміщення	Вид освітлення	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд та підрозряд зорової роботи	КПО, %	Освітленість, лк
1	Операторський пункт	Бічне, одностороннє	0,30-0,5	Б-2	1	400

Експлуатація засобів автоматизації дозволяється лише за наявності затверджених інструкцій та виконавчих схем. Забороняється запуск обладнання з несправними пристроями захисту або КВПіА. Електробезпека гарантується ізоляцією, заземленням неструмоведучих частин та використанням засобів захисту, таких як діелектричні рукавички та килими. Обов'язкове заземлення передбачено при напрузі понад 36 В змінного струму. Пожежна безпека забезпечується дотриманням протипожежного режиму, навчанням персоналу та наявністю автоматичних систем пожежогасіння на небезпечних ділянках.

Висновки за розділом

В ході виконання розділу було розроблено варіант комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1500.

Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу виробництва пари. В

результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

Також в рамках цього розділу роботи опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування процесом.

ВИСНОВКИ

1. Потенційним джерелом підвищення ефективності виробництва пари є зменшення рівня води в котлі ближче до мінімального критичного рівня. Це зумовлено тим, що треба нагрівати менший об'єм води, і відповідно витратити менше газу на виробництво пари. Крім того, зважаючи, що котел має форму циліндра, то при зменшенні рівня води в котлі збільшується площа кипіння і пароутворення.

Однак зниження рівня води в котлі може привести до спрацювання аварійного захисту, після якого треба буде знову перезапускати котел в роботу. А це втрати часу і, відповідно температури води в котлі.

Щоб аварійний захист котла не спрацював, треба підвищити динамічну точність САР рівня води, що зменшить значення середньоквадратичного відхилення рівня води від заданого значення. І лише тоді можна зменшувати задане значення для САР рівня води.

Другим потенційним джерелом підвищення ефективності виробництва пари є реалізація алгоритмів автоматичного пуску та зупинки котла. Тоді навіть при спрацюванні систем захисту, котел буде запускатися в роботу швидше, ніж при ручному пуску оператором. А це відповідно приведе до меншого остигання води в котлі і меншим витратам газу на її повторний нагрів. Таким чином, модернізація існуючих алгоритмів керування котлом, які треба розробити в даній роботі, полягає в створенні алгоритмів і програм для ПЛС, які б підвищили динамічну точність САР рівня води та забезпечили автоматичний пуск та зупинку котла.

2. У ході виконання роботи було встановлено, що котел як об'єкт керування має астатичні властивості. Ідентифікація моделей каналів ОК, доступних для цілеспрямованої дії, проводилася методом активного експерименту із віртуальним ОК з нанесенням на вхід каналу 10%-ї ступінчастої дії. Для параметричної ідентифікації моделей першого і другого

порядку каналу управління застосовувалась програма System Identification. Ця ж програма була використана для параметричної ідентифікації моделей першого і другого порядку каналу контрольованого збурення.

Відтворення отриманих моделей у середовищі імітаційного моделювання здійснювалося в програмі SIMULINK/MATLAB і підтвердило їх адекватність експериментальним даним

3. Була розроблена САР базової структури за принципом замкнутого керування, яка отримує інформацію про поточний стан об'єкта. Переваги даного принципу: можна забезпечити високу точність стабілізації регульованої змінної. Властивості об'єкта необхідно знати тільки по каналу керування.

Спираючись на попередній досвід роботи з дослідження САР з різними регуляторами, був зроблений висновок про доцільність розгляду структурних схем САР тільки з ПІ - і ПІД-регуляторами, причому САР з ПІД-регулятором має кращі показники якості.

В результаті синтезу САР підвищеної динамічної точності була отримана система, показники якості якої мають більш високу динамічну точність в порівнянні з САР базової структури. Це означає підвищення працездатності і надійності системи

4. Були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки системи логічного керування (СЛК) електроприводами котла. Для дослідження СЛК котла обране моделювання із застосуванням програм Simulink та Stateflow середовища Matlab. Результати моделювання СЛК в програмі Simulink показують, що система керування працює коректно як в нормальному режимі, так і в передаварійному

5. Був проведений вибір технічних засобів для керування процесом виробництва пари. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК.

Мікропроцесорне ядро системи керування побудоване за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи

6. Були вивчені основні характеристики контролерів фірми Siemens сімейства S7-1500 та принципи їх програмування. Отримано навички використання документації виробника, правильного вибору необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500.

Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання.

7. Був розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом копчення риби. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування, які може використати в своїй роботі наладчик САК. Тестування системи в цілому продемонструвало її роботоспроможність у всіх режимах роботи.

8. Було розроблено варіант комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1500. Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу виробництва пари. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації. Також в рамках цього розділу роботи опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування процесом

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" [Електронний ресурс] : для студентів, які навчаються за спец. 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. А. Хобін ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем. — Одеса : ОНАХТ, 2016. — Електрон. текст. дан.: 96 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТcnv.BibRecord.157312>

2. Хобін В.А., Світий І.М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання комплексної курсової роботи. Одеська національна академія харчових технологій, 2020. – 277 с.

3. Муратов В. Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб./ В. Г. Муратов. — Вид. 2-ге, допов. — Київ : Освіта України, 2016. — 364 с.

<https://elc.library.onaft.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТcnv.BibRecord.155904>

4. Савицький, В. К. Технічні засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб. /В.К. Савицький, Р.М. Федоришин; Нац. ун-т "Львівська політехніка".— Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2018. - 292 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentSearchResult?jsessionid=6CD40B15F14DD9265BF7FD9A559C892C>

5. Левінський В. М. Конспект курсу лекцій з курсу "Технічні засоби автоматизації". Розділ "Виконавчі пристрої" [Електронний ресурс] : для студентів спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. М. Левінський, М. В. Левінський ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехн. систем. — Одеса : ОНАХТ, 2018. — Електрон. текст. дані: 150 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.162866>

6. Левінський В. М. Основи створення проектів автоматизації в середовищі TIAPortal [Електронний ресурс] : електрон. навч. посіб. для підгот. студентів спец. "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / В. М. Левінський, М. В. Левінський ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — Електрон. текст. дані: 177 с.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.166190>

7. Пупена О.М., Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI. : Навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. — 594 с.

8. Пупена О.М, Ельперін І.В., Луцька Н.М., Ладанюк А.П. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. – К. : Вид-во "Ліра-К", 2011. – 552 с.

9. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студ. напряму 6050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та за-очної форм навчання. – К.: НУХТ, 2011. – 68 с.

10. ANSI/ISA-101.01-2015, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems Copyright: 2015 Length: 64 pages

11. Автоматизація виробничих процесів [Текст] : підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед ; Нац. ун-т харч. технологій. — Вид. 2-ге, випр. — Київ : Ліра-К, 2017. — 378 с. — Бібліогр.: с. 376-377.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ.1739079>

12. Трегуб Віктор Григорович Проектування систем автоматизації [Текст] : навч. посіб. / В. Г. Трегуб ; Нац. ун-т харч. технологій. — Київ : Ліра-

К, 2017. – 344 с. : табл., рис. – Бібліогр.: с. 341.

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.161435>

13. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці : конспект лекцій [Електронний ресурс] / О. О. Фесенко, В. М. Лисюк, С. М. Неменуца, З. М. Сахарова ; Каф. безпеки життєдіяльності. — Одеса : ОНАХТ, 2021. — Електрон. текст. дані: 149 с.

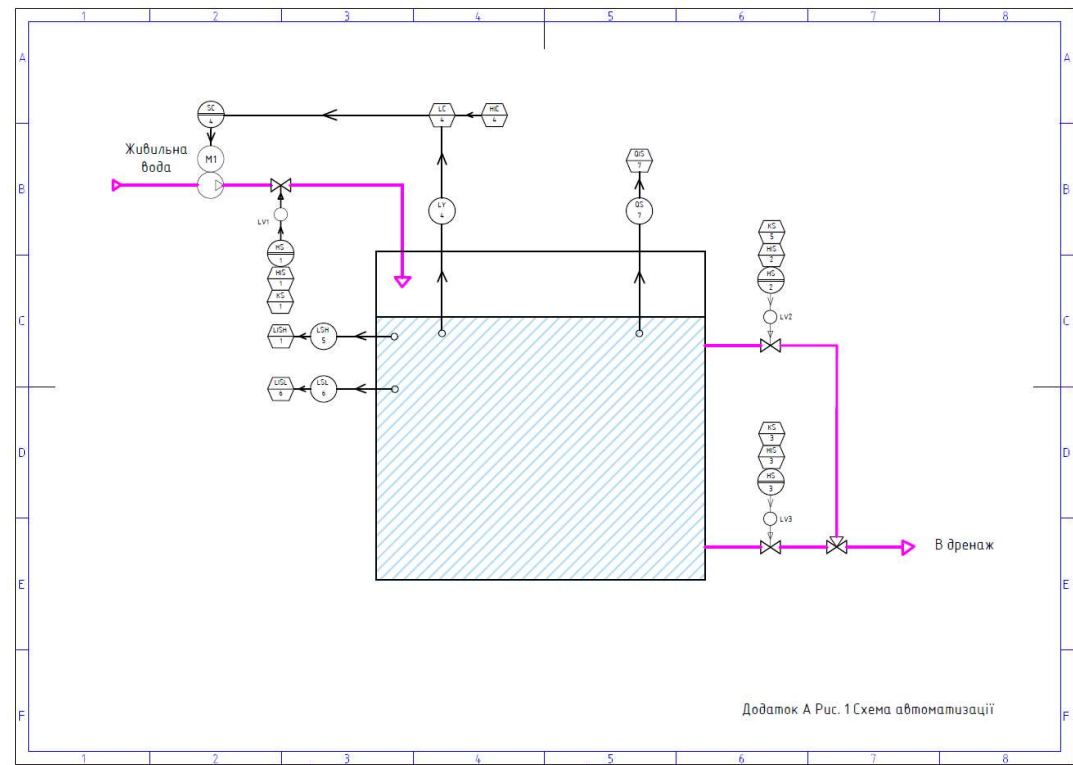
<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ.1739079>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації

Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
TY/7 TY/8	Датчик температури JUMO 902820/50	2	
TS/9	Реле температури KP61	1	
JY/7	БУСТ2	1	
TV/1 TV/	Повітряні заслінки	4	
	<u>Прилади у шафі оператора</u>		
TC/7 KS/1... KS/6	Центральний процесор CPU 1513 1 PN	1	
HIS/1... HIS/7 TISA/9	Панель оператора TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	
HS/1... HS/6	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	6	
	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	6	



ДОДАТОК Б Документація до принципів електричних схем

Таблиця Б1 – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми

Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	Електропривід		
Q1	Автомат захисту двигуна Schneider Electric GV3P65	1	
KM1	Контактор Schneider Electric LC1E65M5	1	
K2	Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24V DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	1	
S4	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	1	
S3	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	1	
S2	Кнопка 22 мм, кругла, пластикова, 1 червона, без фіксації, 1H3 Siemens: 3SU1100-0AB20-1CA0	1	
H1	Індикатор світловий, метал, 24V AC / DC, Білий Siemens: 3SU1132-0AD60-3AA0	1	
	Схема живлення		
Q4	Автоматичний вимикач Siemens: 5SL6210-6	1	
USB	Smart-UPS LogicPower-1000 PRO	1	
G1, G2	PS 60W 24/48/60VDC (6ES7505-0RA00-0AB0)	2	
Q5	MITSUBISHI CP-S-2P-0.05A	1	
F2, F3	TELEMECANIQUE ABE7FU630	2	
	<u>DI</u>		
PLC1	DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)	1	
F1	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
TS/10	Реле температури KP61	1	

PS/11	Реле тиску 611GE	1	
	<u>DO</u>		
PLC2	модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)	1	
TV1 TV4	Реле проміжне Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24B DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	4	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
	<u>AI</u>		
PLC3	Модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00- 0AB0)	1	
TY/7 TY/8	Датчик температури JUMO 902820/50	2	
	<u>AO</u>		
PLC4	Модуль AO 2xU/I/6ES7 (532-5NB00- 0AB0)	1	

