

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



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
на тему «Автоматизація процесу керування копченням риби»

Здобувача Серебрякова А.М.
(прізвище, ініціали)
IV курсу групи А-40

Керівник доцент Левінський В.М.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти:
доцент Левінський В.М.
(посада, прізвище та ініціали)
доцент Світий І.М.
(посада, прізвище та ініціали)

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

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

В. о. завідувач(ка) кафедри АТЕіРС _____ О.М. Жигайло
(назва кафедри) (підпис) Підпис (ПІБ)

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	<u>Навчально-науковий інститут комп'ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування</u>
Кафедра	<u>ім. П.М. Платонова</u> <u>Автоматизації технологічних процесів і</u> <u>робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>Бакалавр</u>
Спеціальність	<u>151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані</u> <u>технології</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в</u> <u>автоматизації</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС
І.М. Світий

«05» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Серебряков Андрій Миколайович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування копченням риби»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Левінський Валерій Михайлович, к.т.н., доцент
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 743-03 від 31.12.2025 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи на кафедру «12» червня 2026 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт, комплексне кваліфікаційне завдання (для заочників).
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. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів автоматичного регулювання, порівняльний аналіз САР.
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів автоматичного логічного керування технологічною ділянкою.
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.
Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання 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 Серебряков А.М.

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 Серебряков А.М. _____
 Прізвище, ініціали Підпис

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Серебрякова А.М. «Автоматизація процесу керування копченням риби» викладена на 131 сторінці, кількість таблиць - 12, рисунків – 106, додатків - 2, джерел з переліку посилань - 11.

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 копчення риби.

Мета роботи – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування виробництва, 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 позачень, символів і одиниць	6
Вступ.....	7
Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації сак.....	8
Розробка концептуальної моделі об'єкта керування, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання	20
Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз сар	41
Конкретизація задачі і розробка алгоритмів	63
логічного керування технологічним агрегатом	63
Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі	74
Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування сак	86
Розробка scada для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика сак.....	95
Розробка фрагментів документації технічного забезпечення сак, включаючи питання охорони праці	109
Висновки	119
Список джерел.....	122
Додатки.....	124

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І ОДИНИЦЬ

АК – алгоритм керування;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

АСК ТП – автоматизована система керування технологічним процесом;

ВМ – виконавчий механізм;

КП – керуючий пристрій;

ОК – об'єкт керування;

ПК – персональний комп'ютер;

САК – система автоматичного керування;

САР – система автоматичного регулювання.

ВСТУП

Технологічний процес копчення риби потребує автоматичного регулювання ряду параметрів, основним з яких є температура димоповітряної суміші в коптильні.

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

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

Копчення - це процес обробки харчових продуктів димоповітряною сумішшю з метою досягнення бактеріального та антиокислювального ефектів. При цьому їхні поверхні забарвлюються в золотисто-коричневі кольори, а самі продукти набувають специфічного приємного смаку й аромату копчення.

Копчення риби здійснюють для її консервування та розширення асортименту. Консервування риби копченням відбувається за рахунок хімічних речовин диму. На формування споживних властивостей копчених рибних товарів впливають вид і розмір риби, якість риби та іншої сировини, технологія виготовлення.

Залежно від температури розрізняють такі основні способи димового копчення риби: холодне, напівгаряче та гаряче, також з використанням коптильної рідини (див. рис. 1.1).

Холодне димове копчення риби здійснюють за температури до 40°C. Для цього придатні риби з різним вмістом жиру. Найкращими є жирні й особливо жирні риби. Перед копченням рибу підсушують для зменшення випаровування води і уникнення накопчення на поверхні багатьох речовин диму. Процес димового копчення триває від 6 год до 2-3 діб. Це залежить від виду і розміру риби, виду розбирання та ін. У процесі копчення риба втрачає багато води, її поверхня стає золотистою, м'ясо ущільнюється, відносна кількість солі підвищується. М'ясо набуває приємного смаку і запаху.

Гаряче димове копчення здійснюється при температурі, яка сягає 90-120°C.

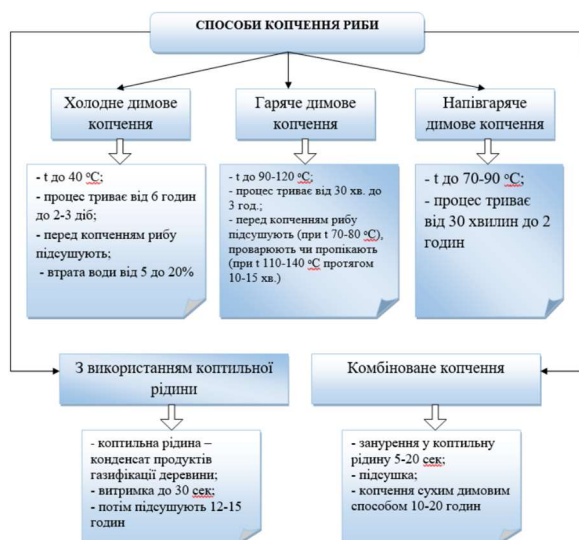


Рис. 1.1 Способи копчення риби

Рибу спочатку підсушують повітрям при температурі 40-60°C протягом 10-15 хв, потім проварюють (пропікають) за температури 110-140°C впродовж 10-15 хв, щоб отримати продукт, готовий для безпосереднього споживання. Під дією високої температури м'язова тканина розпадається на окремі сегменти (міотомі). Тому рибу великих розмірів перед коптінням обв'язують. Коптять рибу при температурі суміші диму і повітря 90-120°C з поступовим збільшенням подачі диму. Залежно від виду та розміру риби, виду розбирання процес коптіння триває від 30 хв до 3 год.

Табл. 1.1 Технологічна характеристика копчення риби

Показник	Копчення риби	
	гаряче	холодне
Сировина або напівфабрикати	Свіжа або заморожена	Солона
Температура диму при копченні, °C	90–160	не більше 35
Тривалість копчення, год.	1,5–6	24–96
Консистенція м'яса риби	Соковита, ніжна, іноді крихка	Щільна, у деяких риб – ніжна (оселедець)
Смак і запах	Перевіреного продукту із ароматом диму	В'яленого продукту з ароматом диму
Колір	Темно-золотистий	Світло-золотистий
Вміст води, %	60–70	48–58 (оселедець – до 60)
Вміст кухонної солі, %	1,5–4,0	5–12

Послідовність технологічних операцій при приготування риби гарячого коптіння показана на рис. 1.2.

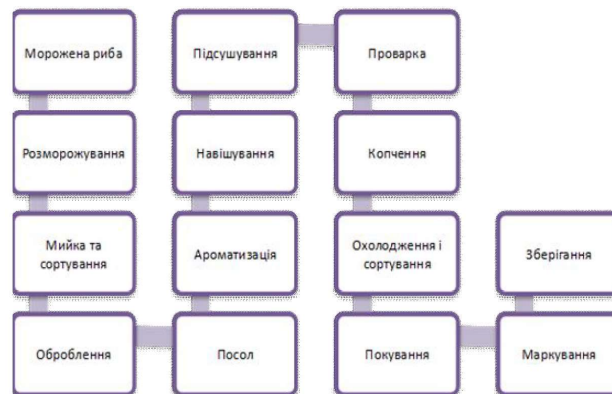


Рис. 1.2 Технологічні операції при гарячому копченню риби

Можливі пороки риби гарячого копчення — непрокопченість, потьоки жиру, смолянисті натікання, білобочка, міхури, підгорання, розриви шкіри, просир. Чорні смолянисті натікання на поверхні риби — результат забруднення смолянистими речовинами, нагаром з димаря і стелі коптильної камери. Дефект усувають обережним зіскоблюванням натікань ножом або протиранням риби серветкою. Білобочка — непрокопчені білі плями, що утворюються в місцях зіткнення однієї риби з іншою. Такий продукт швидко псується, недостатньо смачний, має непривабливий зовнішній вигляд. Рибу-білобочку терміново реалізують або відправляють на докіпчування. Міхури підгорання виникають від підвищеній температурі копчення. Дефект усуненню не підлягає. Розривши шкіри утворюється при різкому підвищенні температури під час підсушки риби, дефект усуненню не підлягає. Просир — недостатня пропеченість м'яса риби у частинах голови і хребта. М'ясо сируватє, погано відділяється від кісток, кров згорнулася не повністю. Дефект усувається при повторному копченні.

1.1.2. Розглянемо опис конструкції технологічного агрегату й особливостей його експлуатації. Процеси підсушування, проварювання та

копчення риби здійснюються в універсальних коптильнях, які оснащені димогенератором.

Фото коптильні представлено на рис. 1.3а, а її технічні характеристики в табл. 1.2.

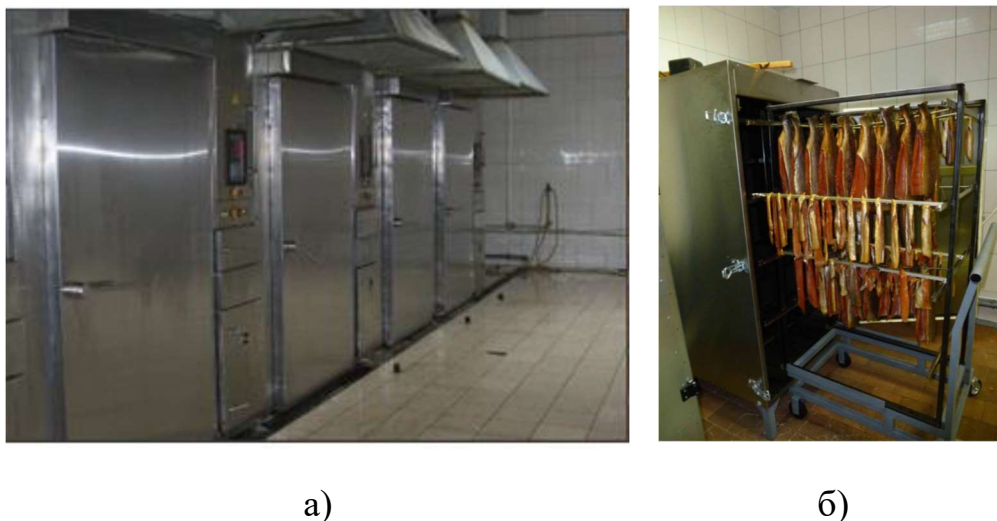


Рис.1.3 Коптильня Іжиця 1200:

а) зовнішній вигляд; б) візок з продукцією

Табл. 1.2 Технічні характеристики коптильні Іжиця 1200

Показник	Значення
Продуктивність, кг/доба	до 600
Час копчення, годин	1,5
Одноразове завантаження, кг	до 115
Габаритні розміри	900 x 900 x 1700 мм
Вага, кг	170
Витрати електроенергії, кВт/год	1,0
Витрати деревини, м/год (рейка 24x24 мм)	1,5

Для ефективної роботи коптильні підтримується швидкість руху диму від 1,0 до 1,5 м/с, відносна вологість при підсушуванні - від 35 до 45%, а для проварки і копчення - від 50 до 60%.

Спрощена структурна схема коптильні представлена на рис. 1.4, де:

1-змішувальна камера; 2 – циркуляційний вентилятор; 3 – візок із продуктом; 4 – витяжний вентилятор; 5 – димогенератор; 6 – трубчасті електричні нагрівачі.

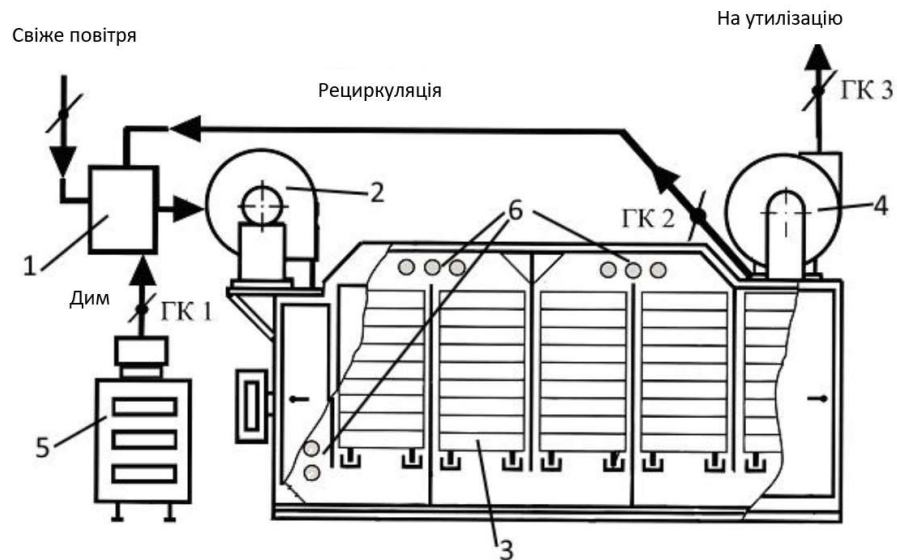


Рис. 1.4 Структурна схема коптильні

Нагрів димоповітряної суміші здійснюється трьома групами ТЕН. Циркуляція димоповітряної суміші здійснюється за допомогою вентилятора 2, а також клапана зміни потоку циркуляції. Клапан подачі свіжого повітря та клапан подачі димоповітряної суміші змінюють потік цих середовищ у циркуляційний трубопровід. Зменшення вологості в коптильній камері здійснюється зміною продуктивності витяжного вентилятора 4, а також клапана зміни потоку витяжки.

1.1.3. Сформулюємо у загальному виді умови, при яких можливо й доцільно реалізовувати розглянутий технологічний процес. Метою будь-якого технологічного процесу, зокрема й процесу копчення риби, 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 копчення риби вони наступні:

- продуктивність коптильні за зміну, не повинна бути менше, ніж за паспортом;
- питомі витрати енергії на процес не повинні перевищувати нормативних значень;
- режими роботи технологічного устаткування не повинні виходити за гранично-припустимі;
- шкідливий вплив технологічного процесу на людину й природу не повинен 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 Проведемо параметризацію схеми технологічного процесу та охарактеризуємо на якісному рівні параметри процесу і їх взаємозалежності. Параметризована схема технологічного процесу є графічним відображенням руху й перетворення матеріальних і енергетичних потоків. Кожний потік і процес характеризується набором параметрів, які відображають їх властивості й умови перетворення потоків. Параметризацію схеми копчення риби проведемо на базі рис. 1.4 шляхом нанесення параметрів на схему.

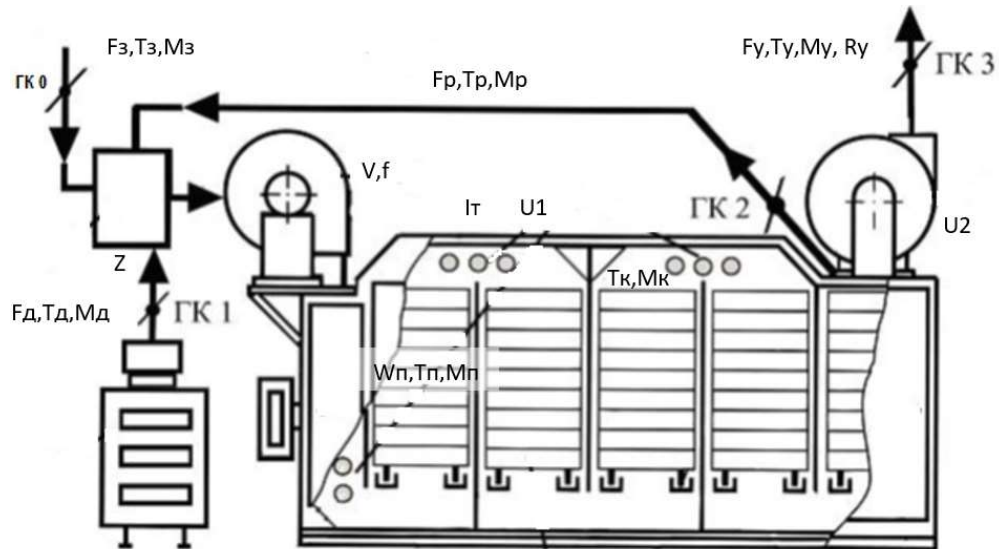


Рис. 1.5 Параметризована схема копчення риби в коптельні

Розглянемо параметри, нанесені на дану схему:

- F_3, T_3, M_3 – витрати, температура і вологість зовнішнього повітря [куб.м/год], $^{\circ}\text{C}$, [%];
- F_d, T_d, M_d – витрати, температура і вологість димоповітряної суміші [куб.м/год], $^{\circ}\text{C}$, [%];
- F_p, T_p, M_p – витрати, температура і вологість димоповітряної суміші рециркуляції [куб.м/год], $^{\circ}\text{C}$, [%];
- F_y, T_y, M_y, R_y – витрати, температура, вологість димоповітряної суміші утилізації та кількість шкідливих домішок [куб.м/год], $^{\circ}\text{C}$, [%], [%];
- T_k, M_k – температура і вологість димоповітряної суміші в коптельні $^{\circ}\text{C}$, [%];
- W_p, T_p, M_p – вага, температура і вологість продукту [куб.м/год], $^{\circ}\text{C}$, [%];
- U_1 – керуюча дія на зміну потужності ТЕНів [%хро];
- U_2 – керуюча дія на зміну частоти обертання витяжного вентилятора [%хро];
- V, f – напруга і частота електроживлення [В], [Гц];
- I_T – струм споживання ТЕНами [А];

- Z - степінь налипання сажі на повехні [%];

1.1.5. Розглянемо нормативи 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 копчення риби 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 устаткування. 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 – T_k , M_k – температура і вологість димоповітряної суміші в коптельні [°C], [%]. Зважаючи на учбовий рівень роботи, в подальшому будемо розглядати в якості технологічного регламенту лише T_k ;

- експлуатаційний регламент- I_t – струм споживання ТЕНами [А];

-техніко-економічний і екологічний регламент - R_y – кількість шкідливих домішок в димоповітряній суміші, яка іде на утилізацію [%];

1.1.6. 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 браку продукції або аварії.

У нашому випадку для параметра T_k – температура димоповітряної суміші в коптельні [°C] короточасні відхилення становлять 5 °C на протязі 100 сек. Якщо температура T_k збільшиться більше допустимого, то виникне брак продукції.

Для M_k – вологості димоповітряної суміші [%] в коптельні короточасні відхилення становлять 10% на протязі 100 сек.

Їх рівень не можна збільшувати вище допустимого. В противному разі може виникнути брак продукції.

Враховуючи учбовий рівень задачі керування процесом коптіння риби, будемо розглядати лише обмеження по температурі димоповітряної суміші ± 5 °C від номінального рівня $T_k=90$ °C.

Табл. 1.3 Таблиця регламентів

№	Найменування параметрів	Позначення	Одиниця виміру	Номинальні значення	Припустимі відхилення від номіналу		
					Тривалі	Короточасні	
					величина	величина	час, сек
1	Температура димоповітряної суміші в коптельні	T_k	°C	90	± 3	± 5	100

1.1.7. 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 рибу, яка подається на копчення,
- W_p , T_p , M_p – вага, температура і вологість продукту [куб.м/год], [°C], [%];

Енергетичні параметри характеризують властивості енергоносіїв. Для даного процесу до них відносяться: F_d , T_d , M_d – витрати, температура і вологість димоповітряної суміші [куб.м/год], [°C], [%]; V , f – напруга і частота електроживлення [В], [Гц]; F_z , T_z , M_z – витрати, температура і вологість зовнішнього повітря [куб.м/год], [°C], [%];

Механічні параметри технологічного устаткування характеризують стан його робочих органів. До них відносяться: - Z - степінь налипання сажі на поверхні [%]; U_1 – керуюча дія на зміну потужності ТЕНів [%хро]; U_2 – керуюча дія на зміну частоти обертання витяжного вентилятора [%хро];

1.1.8. Здійснено подальшу формалізацію опису взаємозв'язків між параметрами технологічного процесу, яка досягається за рахунок переходу до параметричної схеми технологічного процесу. При цьому ті параметри, які відображають мету функціонування, тобто регламентовані, будуть вихідними, а параметри, що відбивають умови функціонування об'єкта – вхідними.

Параметрична схема технологічного процесу копчення риби в коптильні представлена на рис. 1.6.

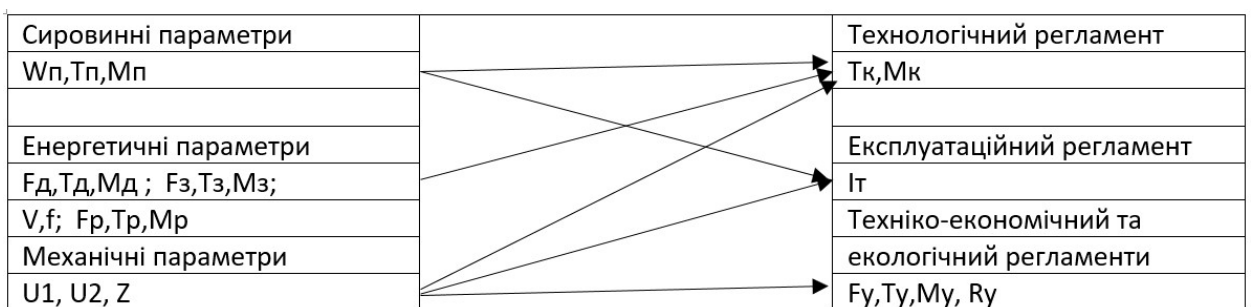


Рис. 1.6 Параметрична схема технологічного процесу копчення риби

1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП

1.2.1. Спочатку дамо оцінку існуючого рівня реалізації функції регулювання для технологічних та експлуатаційних параметрів.

Технологічний параметр T_k – температура димоповітряної суміші в коптильні потребує автоматичного регулювання через те, що змінюється температура продукту в коптильні і отже і степінь випаровування води з нього, змінюється температура зовнішнього повітря і відповідно і температура диму з димогенератора. Тому параметр T_k стабілізується на заданому значенні за рахунок зміни продуктивності ТЕНів – керуюча дія U . На підприємстві ця функція виконується автоматично без участі людини-оператора штатною автоматикою коптильні.

При модернізації системи керування пропонується від ПІД-регулювання перейти до побудови системи підвищеної динамічної точності, яка б компенсувала дію контрольованого збурення.

Найбільш суттєво на T_k впливає температура диму T_d , який надходить з димогенератора. Тому цей параметр доцільно віднести до контрольованого збурення.

1.2.2. Оцінемо існуючий рівень реалізації функції логічного (логіко-програмного) управління. Логічне управління коптильнею передбачає перехід від початкового неробочого стану до робочого стану, тобто реалізацію функції технологічного пуску. Умовами для його здійснення є достані рівні напруги і частоти електроживлення, а також попередній пуск автоматики димогенератора. При пуску послідовно у часі треба відкрити заслінки зовнішнього повітря і диму, а потім подати сигнал управління на штатну систему керування димогенератора. При цьому САР температури в коптильні буде переведена з ручного в автоматичний режим роботи.

Технологічна зупинка коптильні передбачає перевід САР температури в ручний режим, закриття заслінки подачі диму. вимкнення електроживлення ТЕНів.

На підприємстві ці функції логічного управління здійснюються вручну оператором коптильні.

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

Потенційним джерелом підвищення ефективності виробництва копченої риби є зменшення рівня браку продукції. Це зумовлено тим, що збільшення температури димоповітряної суміші в копильні вище регламенту може привести до пошкодження оболонки риби і втрати споживчого вигляду, а зменшення цієї температури нижче регламенту може привести до виходу сирої продукції.

Другим потенційним джерелом підвищення ефективності виробництва пари є реалізація алгоритмів автоматичного пуску та зупинки копильні. Тоді копильня буде запускатися в роботу швидше, ніж при ручному пуску оператором. А це відповідно приведе до збільшення циклів завантаження копильні і зросте об'єм випуску продукції.

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. На рівні окремого технологічного процесу система керування повинна реалізовувати наступні цілі: координувати роботу технологічного устаткування, на якому реалізується процес; виконувати технологічні, експлуатаційні та техніко-економічні регламенти.

Необхідною умовою вирішення завдань управління є наявність керуючих впливів, які є входними змінними (координатами) об'єкта керування (ОК) (див. рис. 1.6). Для задач регулювання, такими керуючими (регулюючими) впливами, насамперед, є дії, які цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме - положення регулюючих органів. Кількість регулюючих впливів має дорівнювати кількості регульованих змінних.

Для процесу копчення риби до управляючого впливу U доцільно віднести положення регулюючого органу, який змінює подачу електроенергії до ТЕНів.

Після того, як визначені керуючі впливи, всі інші входні змінні відносять розряд збурень, тобто таких дій середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими роботи технологічного агрегату.

Для процесу копчення риби контрольоване збурення f_k – це зміна температури T_k димоповітряної суміші на виході з димогенератора. Всі інші входні впливи, крім керуючого впливу і контрольованого збурення f_k , віднесемо до неконтрольованих збурень f_n . При моделюванні ОК детерміновану складову цих збурень зазвичай адитивно прикладають до керуючого впливу, а стохастичну складову – до регульованої змінної.

З урахуванням наведених вище визначень, складемо структурну (координатну) схему об'єкту керування. Вона є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК і по суті є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК.

Структурна схема процесу копчення риби наведена на рис. 2.1.

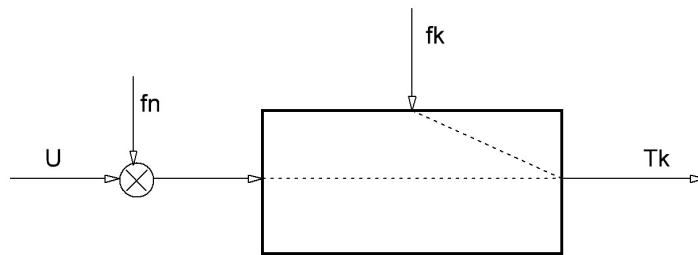


Рис. 2.1. Структурна схема процесу копчення риби як об'єкту регулювання

U – положення регулюючого органу, який змінює подачу електроенергії до ТЕНів [%хро];

T_k – температура димоповітряної суміші в копильні [°C];

f_k – контрольоване збурення [°C];

f_n – вектор неконтрольованих збурень [%хро].

Таким чином, в ОК є один прямий канал керування U - T_k , зумовлений зміною витрат електроенергії на температуру димоповітряної суміші в копильні. Його вхідна змінна доступна для цілеспрямованої зміни, що дозволить провести активний експеримент по ідентифікації властивостей каналу. Другий канал в ОК - це дія контрольованого збурення f_k - T_k , зумовлена впливом зміни температура димоповітряної суміші T_d на виході з димогенератора на температуру димоповітряної суміші T_k в копильні. Вхідна дія цього каналу недоступна для цілеспрямованої зміни, тому ідентифікувати властивості каналу можна лише за результатами пасивного експерименту.

2.1.1 Математичні моделі ОК можна поділити на статичні та динамічні. Статичні властивості ОК описуються статичними характеристиками

(моделями) каналів. Вони відбивають взаємозв'язок між регульованою змінною і керуючим впливом в статично сталих режимах, тобто після загасання всіх перехідних складових цих змінних.

Виходячи з фізичної суті теплових процесів, що протікають в ОК, відомо, що статична характеристика - залежність температури димоповітряної суміші в коптельні T_k в від зміни витрат електроенергії, яка підводиться до ТЕНів, нелінійна.

Однак також відомо, що в системах стабілізації для компенсації впливу збурень на регульовану змінну ОК керуючу дію достатньо змінювати у досить вузькому діапазоні, наприклад (40%...60%), а відповідно, і діапазон зміни регульованої змінної буде незначним. Тому в таких діапазонах реальну нелінійну статичну характеристику можна замінити лінійною залежністю. Ця заміна носить назву «лінеаризація статичної характеристики ОК». Завдяки цьому процеси в ОК можуть бути описані лінійними диференціальними рівняннями.

2.1.2. Кінцевим результатом ідентифікації математичної моделі статички є установлення функціональної залежності виду $y = \Phi(\bar{x})$ на основі експериментальних даних, де $\bar{x} \in \{\bar{u}, \bar{f}\}$ – вхідні змінні ОК.

Значення y , отримані в результаті експерименту, завжди мають випадкову складову, обумовлену дією некерованих і неконтрольованих змінних, похибками вимірювання y та $\bar{x}$. У цьому випадку залежність $y^M = \hat{y} = \Phi(\hat{\bar{x}})$ визначається з використанням статистичних ("усредняющих") методів, і вона називається регресією, регресійною залежністю або рівнянням регресії.

У теорії експерименту вхідні змінні ОК називають факторами, а регульовані координати – відгуком. Відповідно до цієї термінології експеримент, проведений для ідентифікації моделі, де функція залежить від однієї змінної, називають однофакторним, а функція багатьох змінних – багатофакторним.

Експерименти для отримання математичних моделей статички можуть бути пасивному або активними (як і при отриманні моделей динаміки). Для отримання моделі статички ОК по каналу U-Тк будемо використовувати активний експеримент, оскільки в даному випадку керуючий вплив U доступний для зміни.

Для проведення активного експерименту необхідно попередньо провести його планування на об'єкті для реалізації обраного методу та відображення результатів натурного або уявного експериментів у вигляді оцінок статичних характеристик.

Суть планування експерименту полягає у виборі діапазонів зміни факторів, кроку збільшення факторів, послідовності їх зміни та числа повторів цих змін.

А. Діапазони зміни факторів в експерименті фактично визначає діапазон, де отримана модель може коректно використовуватися. Тому вони повинні відповідати реальним діапазонам зміни змінними, обумовлених факторами.

Б. Крок факторів повинен бути такими, щоб при перекритті необхідного діапазону їх зміни кількість дослідів не була б занадто великою або малою – найчастіше рекомендується 3...6 дослідів.

В. Кількість повторів (для компенсації випадкової складової) визначається інтенсивністю випадкових складових у вхідних і вихідних змінних ОК, кількістю факторів (цілеспрямовано змінюваних вхідних змінних) витратами часу та інших обставин. Кількість повторів приймається рівною 3...5. У деяких випадках повторів можна не робити взагалі.

Г. Послідовність зміни факторів особливо при їх великій кількості доцільно вибрати такою, щоб рандомизувати експеримент, тобто додати випадкові властивості ходу експерименту. Це можна зробити за рахунок запланованої заздалегідь випадкової зміни послідовності зміни факторів і, можливо, величин їх збільшень. Така організація експерименту дозволить “не пропустити” особливостей властивостей об'єкту, що при однакових з'єднаннях

факторів при повторях можуть не виявитися. У найпростіших випадках можна використовувати і регулярні плани.

Для отримання статичної характеристики ОК застосуємо уявний активний однофакторний експеримент, змінюючи керуючий вплив U і реєструючи значення температури T_k після закінчення перехідних процесів.

Результати цього уявного експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1. Аналіз інформації по результатам експерименту зводиться до підбіру структури математичної моделі статички та її параметрів.

Таблиця 2.1.

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

№ пп	U , %х.р.о.	T_d , °C	T_k , °C
1	20	40	60
2	30	40	70
3	40	40	80
4	50	40	90
5	60	40	100
6	70	40	110
7	80	40	120

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $T_k=f(U)$. Для проведення параметричної ідентифікації моделі статички ОК доцільно використовувати метод найменших квадратів, який реалізований в програмі Curve Fitting Tool.

Спочатку в програмі Matlab створюємо m-файл, в який вносимо дані з табл. 2.1 (див. рис. 2.2).

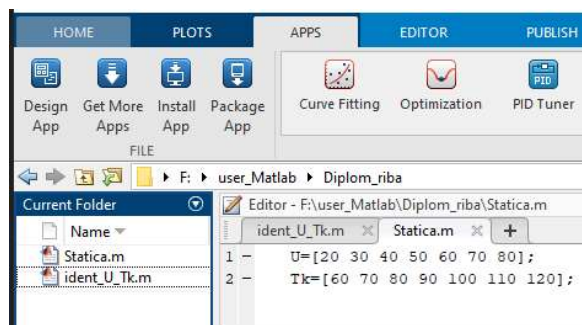


Рис. 2.2 Створення m-файлу за даними табл. 2.1

Далі на вкладці APPS знаходимо і запускаємо застосунок Curve Fitting, носимо із робочого простору Workspace вектори U, Tk і отримуємо графік залежності і рівняння статичної характеристики ОК по каналу U – Tk, а саме

$$Tk = p1 \cdot U + p2 = 1,0 \cdot U + 40$$

В даному випадку $p1=K_o$ коефіцієнту передачі ОК по каналу керування, а $p2=T_{k0}$ значенню температури Tk при $U=0\%$ хро.

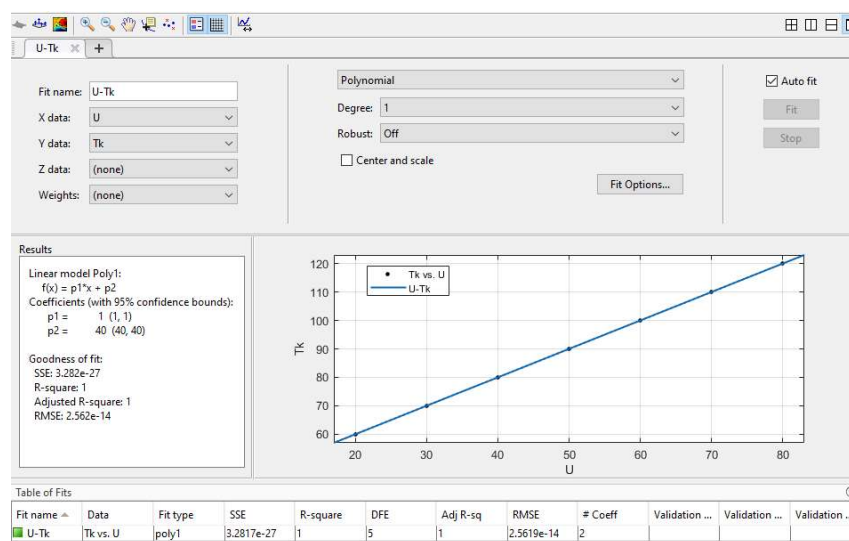


Рис. 2.3 Результати обробки експериментальних даних по каналу U-Tk в програмі Curve Fitting Tool

Як видно з рис. 2.3, отримана модель статичної характеристики є лінійною. Середньоквадратична помилка RMSE відгуків моделі у порівнянні з експериментальними даними не перевищує $2,6 \cdot 10^{-14}$, тому можна вважати, що модель адекватна експериментальним даним, отриманим на уявному ОК.

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

2.3.1. Перед початком експериментів доцільно на основі апріорних даних, виходячи з фізичної суті об'єкту, попередньо оцінимо властивості каналів,

моделі яких підлягають ідентифікації. Для технологічного процесу копчення риби за каналом управління ОК має властивість самовирівнювання, тому що технологічний процес є тепловим. Збільшення керуючої дії U приведе до збільшення температури T_k димоповітряної суміші в копильні.

Аналогічно по каналу f_k - T_k ОК має властивість самовирівнювання, тому що технологічний процес є тепловим і збільшення температури T_d приведе до збільшення температури T_k .

Обираючи математичні моделі динаміки ОК по цим каналам у вигляді диференціальних рівнянь, слід відзначити, що порядок цих рівнянь апіорі невідомий. Тому для опису динаміки ОК можна використати диференціальні рівняння першого та другого порядку з запізнюючим аргументом часу.

Коефіцієнти цих рівнянь будемо вважати незмінними у часі, оскільки фізичні властивості копильні в процесі одного циклу копіння продукту змінюються незначимо.

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 у вигляді передатних функцій, а саме ланки запізнення з інерційною ланкою першого порядку та ланки запізнення з інерційною ланкою другого порядку:

$$W(s) = \frac{k \cdot \exp(\tau \cdot s)}{T \cdot s + 1} ; \quad W(s) = \frac{k \cdot \exp(\tau \cdot s)}{(T \cdot s + 1)^2} . \quad (2.1)$$

де k – коефіцієнт передачі, T – постійна часу, τ – час запізнення є параметрами моделі ОК.

2.3.2 Для проведення ідентифікації параметрів (2.1) по каналу U - T_k проведемо активний експеримент. В якості входної дії $U(t)$ оберемо ступінчасту дію, що доцільно з розуміння простоти організації цієї дії, мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробки його результатів

Створимо план активного експерименту в такій послідовності:

1. За допомогою зміни керуючої дії домагаємося таких значень регульованої змінної, щоб вона перебувала б в околиці номінальних значень. Для нашого ОК значенням $U = 50$ %х.р.о. будуть відповідати значення регульованої змінної $T_k = 90^{\circ}\text{C}$ (див. табл. 2.1).

2. Чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів, при яких вихідна змінна перестане змінюватися.

3. Змінимо керуючу дію U_1 ступінчастим чином на 10%х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну вихідної змінної до настання нового сталого режиму.

5. Повертаємо U у вихідний стан, чекаємо закінчення перехідного процесу в каналі та настання сталого режиму.

Такий план активного експерименту проводиться на реальному ОК. В нашому випадку будемо використовувати віртуальний ОК, реалізований в програмі Simulink середовища Matlab. При цьому слід зважати на той факт, що процеси в реальному ОК протікають у неперервному часі і мають властивість багаторазового диференціювання. Ці процеси можна описати диференціальними рівняннями високого порядку, який априорі невідомий.

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

$$W(s) = \frac{k \cdot \exp(\tau \cdot s)}{(T_1 \cdot s + 1)^n \cdot (T_2 \cdot s + 1)^m} \quad (2.2)$$

яка буде певним чином відображати властивості реального ОК. Наприклад, оберемо в якості моделі по каналу керування віртуального ОК, модель представлену на рис. 2.4. В даному випадку $n=3$, $m=2$.

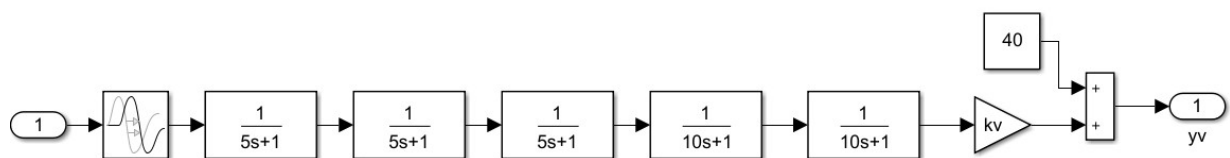


Рис. 2.4 Приклад моделі віртуального ОК по каналу U - T_k

Параметри цієї моделі визначим у m-файлі, як на рис. 2.5.

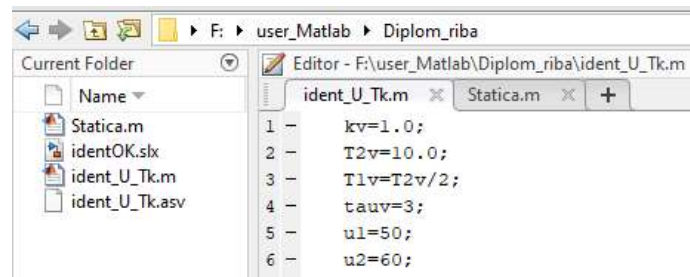


Рис. 2.5 Приклад визначення параметрів моделі віртуального ОК в m-файлі

Проведемо моделювання моделі віртуального ОК по каналу U-Tk для отримання перехідної характеристики на стрибок $U = 50\% \rightarrow 60\%$. Схема моделювання представлена на рис. 2.6, а результати – на рис. 2.7.

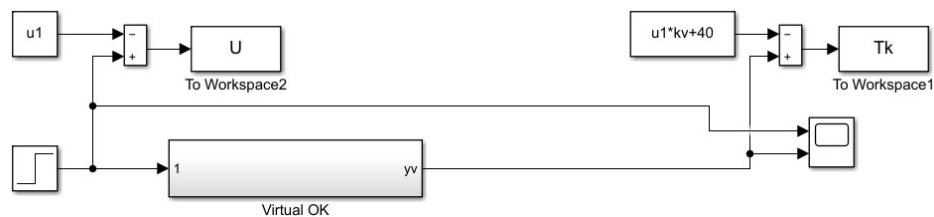


Рис. 2.6 Схема моделювання віртуального ОК по каналу U-Tk

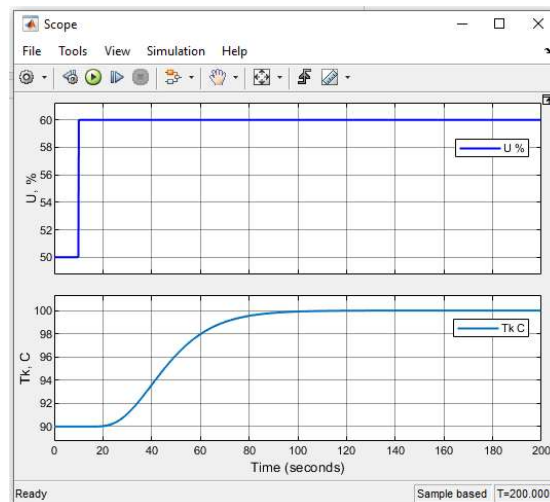


Рис. 2.7 Результати моделювання віртуального ОК по каналу U1-T1

За результатами активного експерименту можна зробити висновок, що канал управління U -Tk віртуального ОК має властивість самовирівнювання і,

відповідно проведена раніше структурна ідентифікація залежностями (2.1) є коректною.

2.3.3 Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК (k), сталу часу (T) і час запізнення (τ). Коефіцієнт передачі по каналу U-Tk вже був визначений в п.2.1.2.

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати програму System Identification, кнопка виклику якого розташована на вкладці APPS Matlab. Вхідними даними для нього є файли U(t), Tk(t) із робочого середовища Workspace, які формуються в Simulink-моделі і зберігають U(t), Tk(t) з нульовими початковими значеннями (див. рис. 2.6).

Для завантаження цих файлів в програму System Identification натискаємо на випадаючий список Import data і обираємо варіант Time-Domain Signals. Заповнюємо позиції у вікні Import data за прикладом рис. 2.8.

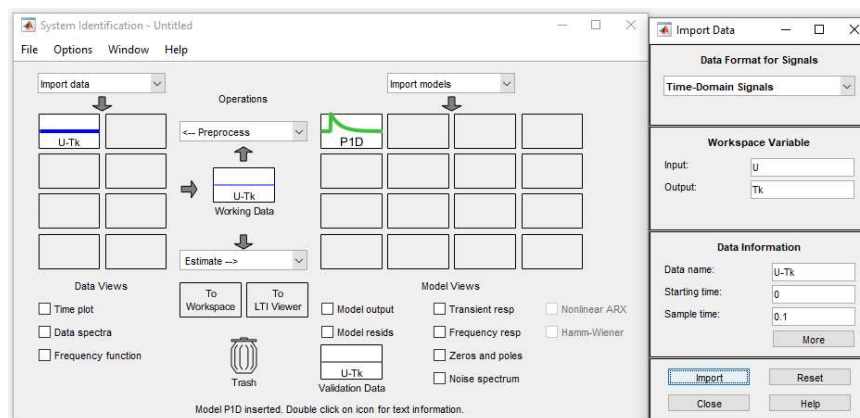


Рис. 2.8 Приклад вікна програми System Identification

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

У вікні Process Models (див. рис. 2.9) обираємо модель ОК по каналу U-Tk у вигляді передатної функції 1-го порядку, вказуємо відомий коефіцієнт передачі $K=1.0$ та діапазон зміни часу $T_d [0...50]$ сек. і натискаємо на кнопку

Estimate. Обчислені значення постійної часу T_{p1} та часу запізнення T_d виводяться у відповідних позиціях.

The screenshot shows the 'Process Models' dialog box. The 'Transfer Function' section displays the formula $\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + T_{p1} s)}$. The 'Poles' section has a dropdown set to '1' and 'All real'. The 'Disturbance Model' is 'None' and 'Focus' is 'Simulation'. The 'Name' field contains 'PID'. The 'Estimate' button is highlighted.

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☒	1	1	[-Inf Inf]
T_{p1}	☐	19.0856	Auto	[0 100]
T_{p2}	☐	0	0	[0 Inf]
T_{p3}	☐	0	0	[0 Inf]
T_z	☐	0	0	[-Inf Inf]
T_d	☐	20.2841	Auto	[0 50]

Initial Guess:
☐ Auto-selected
☐ From existing model:
☒ User-defined (Value-->Initial Guess)

Initial condition: Auto, Regularization...
 Covariance: Estimate, Options...
☐ Display progress, Continue

Name: PID, Estimate, Close, Help

Рис. 2.9 Вигляд вікна Process Models

Потім обираємо варіант моделі 2-го порядку і отримуємо її параметри.

The screenshot shows the 'Process Models' dialog box with a second-order model. The 'Transfer Function' section displays the formula $\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}$. The 'Poles' section has a dropdown set to '2' and 'All real'. The 'Disturbance Model' is 'None' and 'Focus' is 'Simulation'. The 'Name' field contains 'P2D'. The 'Estimate' button is highlighted.

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☒	1	1	[-Inf Inf]
T_{p1}	☐	13.5169	Auto	[0 100]
T_{p2}	☐	13.5014	Auto	[0 100]
T_{p3}	☐	0	0	[0 Inf]
T_z	☐	0	0	[-Inf Inf]
T_d	☐	13.3428	Auto	[0 50]

Initial Guess:
☐ Auto-selected
☐ From existing model:
☒ User-defined (Value-->Initial Guess)

Initial condition: Auto, Regularization...
 Covariance: Estimate, Options...
☐ Display progress, Continue

Name: P2D, Estimate, Close, Help

Рис. 2.10 Вигляд вікна Process Models з даними для 2-го порядку моделі ОК по каналу U-Тк

Записуємо отримані параметри моделі ОК по каналу U-Тк в табл. 2.2.

Табл. 2.2 Результати ідентифікації динамічних властивостей ОК

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
U-Тк	$W_o^{U-T_k}(s) = \frac{1,0 \cdot \exp(-20,3s)}{19,1s + 1}$	$W_o^{U-T_k}(s) = \frac{1,0 \cdot \exp(-13,3s)}{(13,5s + 1) \cdot (13,5s + 1)}$

2.3.5. Розглянемо більш детально причини зміни температури димоповітряної суміші $T_d(t)$ на виході із димогенератора та сплануємо пасивний експеримент на віртуальному ОК щодо збору інформації для структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей контрольованих збурень та каналу їх перетворення.

Генерація диму в димогенераторі відбувається від тління опилок, які знизу піддуваються потоком повітря. Цей процес нестационарний у часі, може навіть виникати загоряння опилок, яке тушиться струменями води, що подаються за командами вбудованої системи автоматики димогенератора. Тому температура $T_d(t)$ на виході із димогенератора весь час змінюється, коливаючись навколо середнього значення. Відповідно вона певним чином впливає і на температуру димоповітряної суміші $T_k(t)$ в коптильні. Зміни температур $T_d(t)$ і $T_k(t)$ можна розглядати, випадкові процеси.

Виходячи із фізичної суті виникнення контрольованого збурення, можна скласти наступний план проведення пасивного експерименту по визначенню структури і параметрів його моделі:

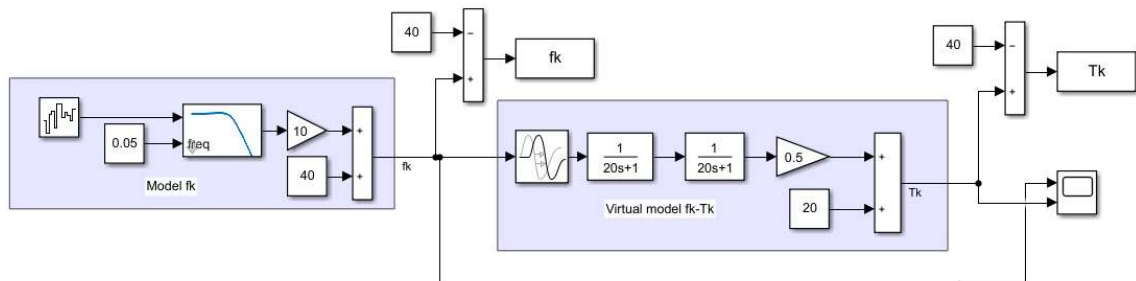
1. Забезпечити стабільну роботу коптильні, не змінювати задане значення регулятора температури T_k .

2. Переконавшись, що САР по каналу U-Тк працює в сталому режимі, зафіксувати за допомогою логерів реалізації зміни температур $T_d(t)$ та $T_k(t)$. Час запису цих показників повинен буди достатнім для подальшої обробки та отримання статистично стійких і достовірних результатів.

3. Отримані файли $T_d(t)$ та $T_k(t)$ 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.



2.11 Схема моделювання віртуального ОК по каналу fk-Tk

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

$$W(s) = \frac{0,5 \cdot \exp(15 \cdot s)}{(20 \cdot s + 1)^2}, \quad (2.3)$$

Її параметри відображають більшу інерційність каналу fk-Tk у порівнянні із каналом керування U-Tk.

Формування контрольованого збурення fk здійснено за допомогою генератора псевдобілого шуму (див. рис. 2.9), вихід якого поданий на фільтр низької частоти Баттерворта, який пригнічує частоти, вищі ніж 0,05 рад/с. Це зроблено з метою створити збурення, наслідки яких в регульованій змінній САР змогла б подавляти.

Час моделювання встановимо 10000 секунд.

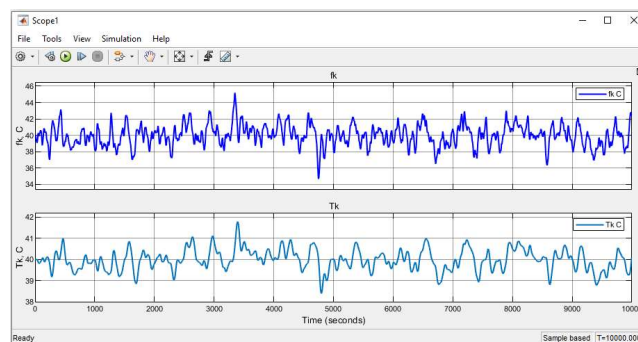


Рис. 2.12 Результати моделювання віртуального ОК по каналу fk-Tk

Після запуску віртуальної моделі в робочому просторі Workspace Matlab були сформовані два файли: $f_k(t)$ і $T_k(t)$.

Після завантаження цих файлів до програми System Identification у випадяючому списку Estimate обираємо варіант представлення моделей ідентифікації даних Process Models.

Для параметричної ідентифікації моделей ОК з статичними властивостями (2.1) необхідно знайти коефіцієнт передачі k , сталу часу T і час запізнення τ .

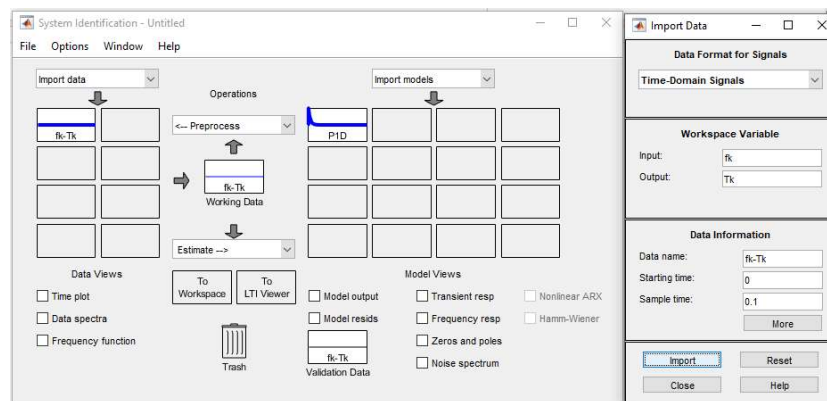


Рис. 2.13 Приклад вікна програми System Identification

Спочатку проведемо ідентифікацію параметрів ОК по каналу f_k - T_k моделлю першого порядку (див. рис. 2.14).

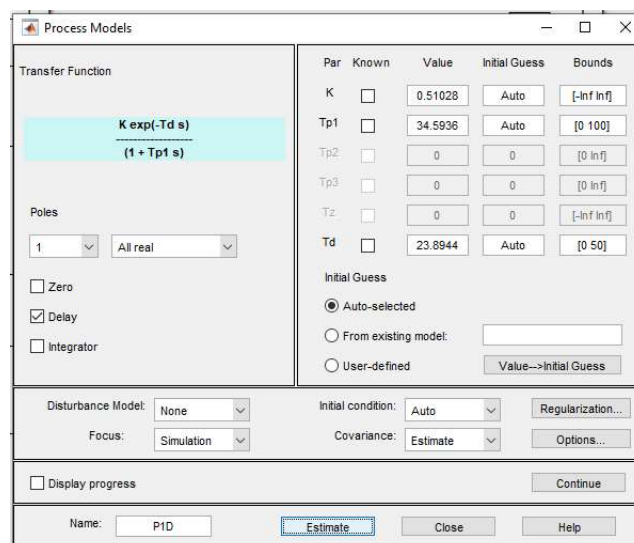


Рис. 2.14 Вигляд вікна Process Models

при ідентифікації по каналу f_k - T_k параметрів моделі (2.1) ОК 1-го порядку

У вікні програми System Identification після натискання на напис Model Output можна зразу ж перевірити якість ідентифікації, порівнявши експериментальний графік $T_k(t)$ з графіком моделі (2.1) для 1-го порядку.

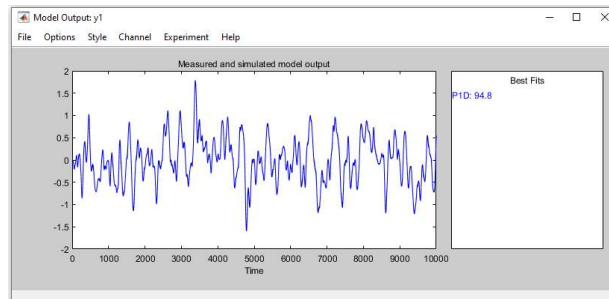


Рис. 2.15 Результати ідентифікації каналу f_k - T_k моделлю 1-го порядку

Потім обираємо варіант моделі (2.1) 2-го порядку і отримуємо її параметри.

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☐	0.5	Auto	[0 1]
Tp1	☐	20.7986	Auto	[0 100]
Tp2	☐	19.0881	Auto	[0 100]
Tp3	☐	0	0	[0 Inf]
Tz	☐	0	0	[-Inf Inf]
Td	☐	15.0749	Auto	[0 50]

Рис. 2.16 Вигляд вікна Process Models з даними для 2-го порядку моделі (2.1) ОК по каналу f_k - T_k

У вікні Model Output програми System Identification отримуємо експериментальний графік $T_k(t)$ та графіки для моделі (2.1) для 2-го порядку, а також оцінку їх співпадання.

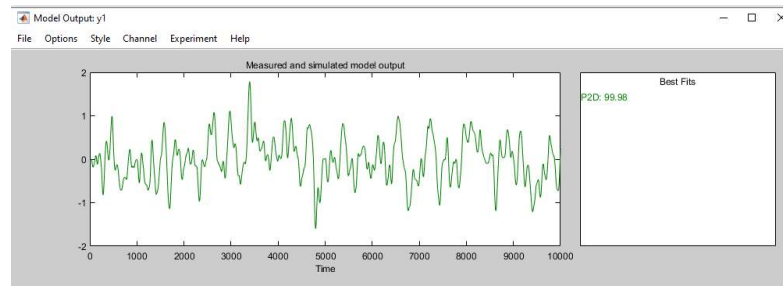


Рис. 2.17 Результати ідентифікації каналу Fr-L моделлю (2.1) 1-го порядку

Порівнюючи результати за рис. 2.15 і рис.2.17, можна дійти висновку, що модель 2-го порядку краще оцінює параметри (2.1) ОК по каналу контрольованого збурення f_k-T_k , ніж модель 1-го порядку. Програма System Identification підтвердила коректність своїх алгоритмів ідентифікації. Записуємо отримані параметри моделі ОК по каналу f_k-T_k в табл. 2.2.

Табл. 2.2 Результати ідентифікації динамічних властивостей ОК

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
f_k-T_k	$W_{ок}^{fk-Tk}(s) = \frac{0,5 \exp(-23,9s)}{34,6s + 1}$	$W_{ок}^{fk-Tk}(s) = \frac{0,5 \exp(-15,1s)}{(20,8s + 1) \cdot (19,1s + 1)}$

2.3.6. Проведемо аналіз фізичної суті, можливих діапазонів зміни та частотних властивостей моделей неконтрольованих збурень об'єкта регулювання. Слід зазначити, що неконтрольовані збурення на ОК не є чітко певними фізичними параметрами. Вони є певною математичною абстракцією, про яку відомою є лише реакція регульованої 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.

На практиці дуже часто прагнуть використовувати найбільш прості моделі детермінованої складової неконтрольований збурень. У таких умовах в якості моделі $f_n(t)$ приймають модель ступінчастої дії, прикладеної до входу

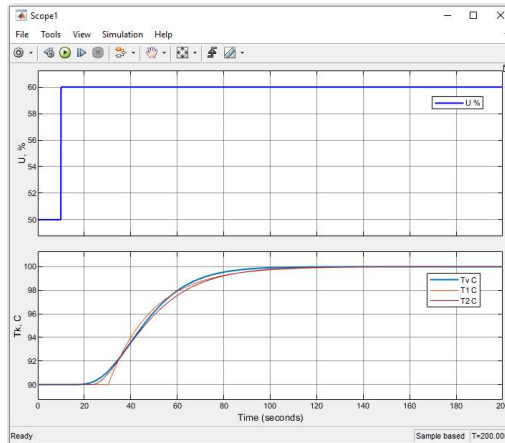


Рис. 2.19 Схема моделювання віртуального ОК по каналу U-Tk та його спрощених моделей (2.1)

2.4.2 Для порівняння реакції віртуальної моделі ОК по каналу f_k -Tk та її спрощених моделей, передатні функції яких представлені в табл. 2.2, на контрольоване збурення $f_k(t)$ випадкового характеру, складемо наступну імітаційну модель (див. рис.2.20).

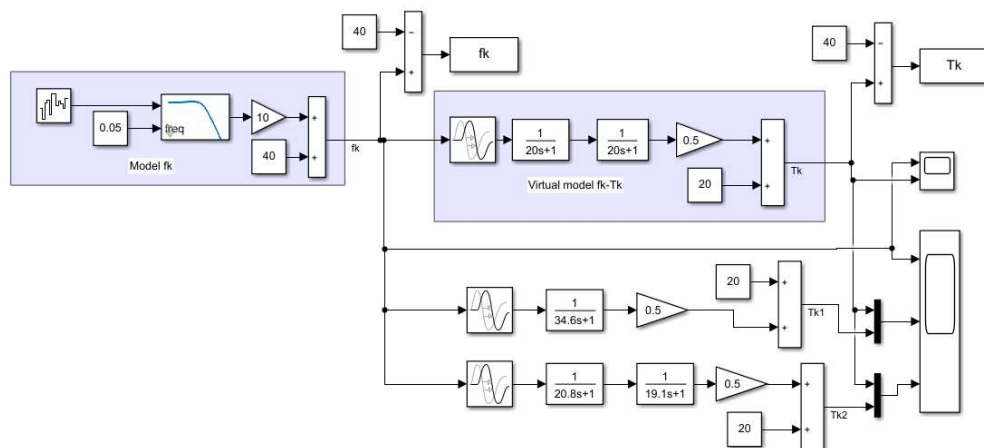


Рис. 2.20 Схема моделювання каналу контрольованого збурення ОК f_k -Tk

Результати моделювання за цією схемою представлені на рис. 2.21. 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_k -Tk. Ці результати повністю підтверджують дані, наведені на рис. 2.15, 2.17.

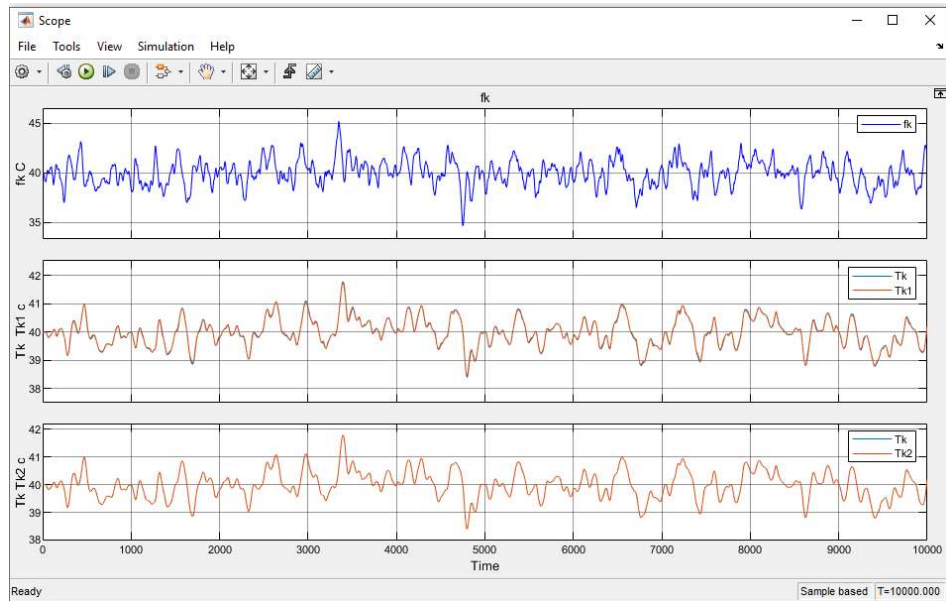


Рис. 2.21 Результати моделювання ОК
по каналу контрольованого збурення fk - Tk

В подальшому для моделювання ОК по каналу контрольованих збурень fk - Tk 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 - Tk , fk - Tk ОК та модель контрольованого збурення fk (див. рис. 2.22).

По каналу U - Tk застосована модель (2.1) 2-го порядку, яка точніше відтворює віртуальну модель ОК. По каналу fk - Tk застосована модель (2.1) 1-го порядку, що спростить подальші розрахунки САР.

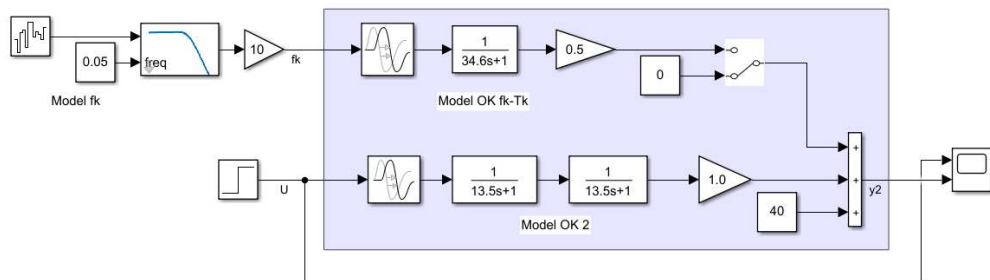


Рис. 2.22 Повна модель ОК

Результати моделювання повної моделі ОК наведені на рис. 2.23, 2.24.

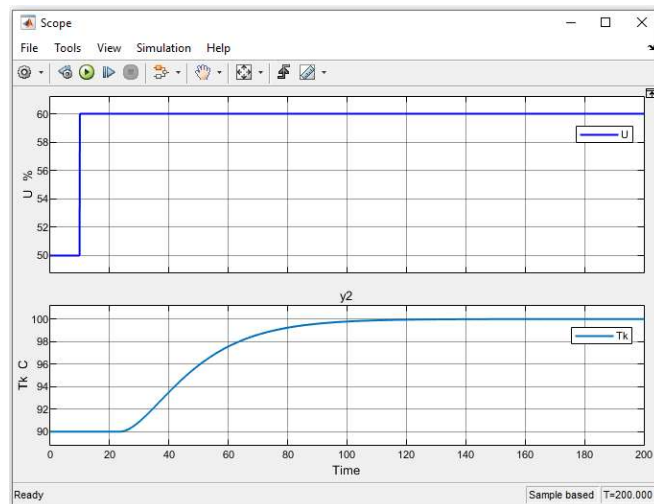


Рис. 2.23 Результати моделювання повної моделі ОК по каналу U-Tk

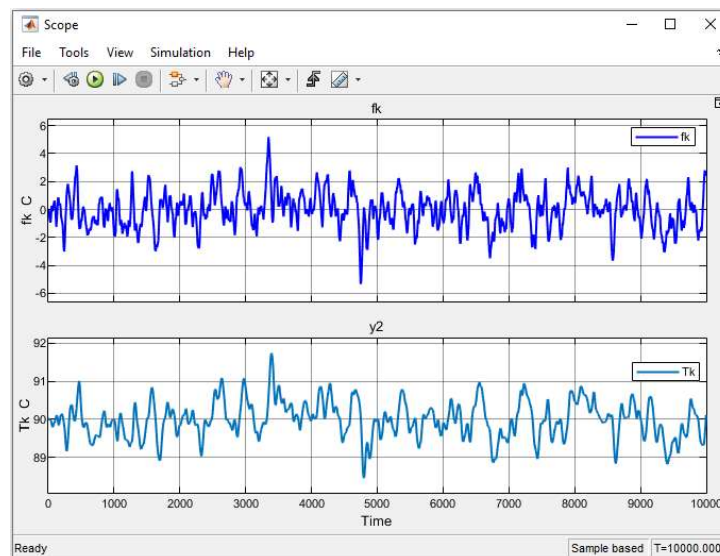


Рис. 2.24 Результати моделювання повної моделі ОК по каналу fk-Tk

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

Висновки:

У ході цієї частини роботи було встановлено, що копильня як об'єкт керування має статичні 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.

РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

3.1.1. Коптильну як об'єкт керування можна віднести до ОК періодичної дії, тому що технологічний процес коптіння риби передбачає завантаження візків з сировиною в коптильню і зміну температури димоповітряної суміші відповідно до програми. Після закінчення обробки візки з готовою продукцією вивантажують з коптельні і процес повторюється.

В подальшому будемо розглядати регульовану змінну – температуру димоповітряної суміші $T_k(t)$ лише на етапі коптіння, коли її потрібно стабілізувати на номінальному рівні T_{kz} .

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 $T_k(t)$ повинен підтримуватися у сталому режимі роботи котла на рівні $T_{kz}=90\text{ }^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$. В перехідних режимах припустимі короточасні відхилення до $\pm 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 100 с. Регламентна зона за параметром $T_k(t)$ наведена на рис. 3.1.

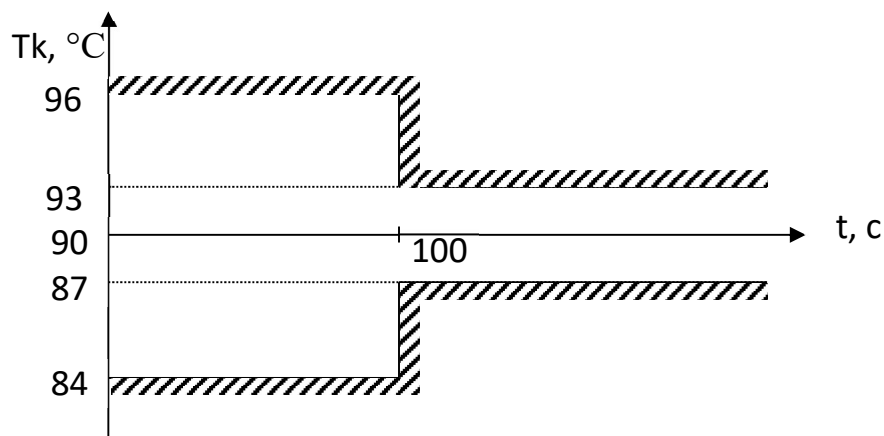


Рис. 3.1 Регламентна зона за параметром $T_k(t)$

Як видно з регламентів за параметром $T_k(t)$, для процесу коптиння риби пред'являються вимоги 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 температури димоповітряної суміші в коптельні застосуємо інтегральний модульний критерій.

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

де t_M - час моделювання;

$\Delta T_k(t)$ – відхилення рівня $L(t)$ від заданого значення T_{kz} .

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

3.1.2. При виборі і обґрунтуванні принципу побудови системи автоматичного регулювання температури димоповітряної суміші в коптельні врахуємо, що для САР процесу коптиння риби доступною є інформації про бажаний стан ОК, тобто T_{kz} , а також інформація про поточний стан ОК – $T_k(t)$. Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу $U(t)$ є достатнім для реалізації замкнутого принципу керування. Цей принцип дозволяє компенсувати як контрольовані f_k , так і неконтрольовані збурення f_n в САР, що актуально для регулювання температури T_k . Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР базової структури.

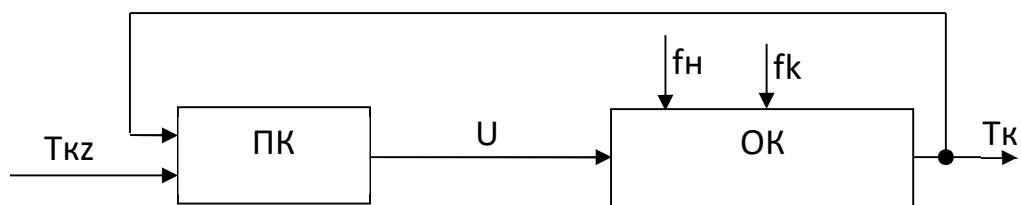


Рис. 3.2 Узагальненої структурна схема САР базової структури
з замкнутим принципом керування

3.1.3 Конкретизуємо базову структурну схему САР і можливі алгоритми регулювання.

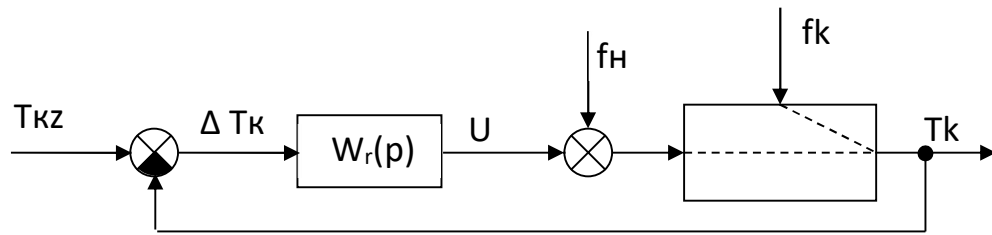


Рис. 3.3 – Структурна схема САР температури базової структури:

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

T_{kz} – задане значення регульованої змінної;

ΔT_k – помилка регулювання;

U – керуюча дія регулятора;

f_n – неконтрольовані збурення;

f_k - контрольоване збурення;

T_k – 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 коптіння риби 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 $R_n = 20\%$ та параметри статичного ОК по каналу U-Тк для моделі 1-го порядку: $k_o = 1^\circ\text{C}/\% \text{хро}$; $\tau_o = 20,3$ с; $T_o = 19,1$ с.

Розрахунок параметрів ПІ-регулятора для каналу «U-Тк»:

$$kr = \frac{0,8 \cdot T_o}{k_o \cdot \tau_o} = \frac{0,8 \cdot 19,1}{1 \cdot 20,3} = 0,75 \frac{\% \text{хро}}{^\circ\text{C}}$$

$$T_{iz} = 2,5 \cdot \tau_o = 2,5 \cdot 19,1 = 48 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПІД-регулятора для каналу «U-Тк»:

$$kr = \frac{1,0 \cdot T_o}{k_o \cdot \tau_o} = \frac{1,0 \cdot 19,1}{1 \cdot 20,3} = 0,9 \frac{\% \text{хро}}{^\circ\text{C}}$$

$$T_{iz} = 2 \cdot \tau_o = 2 \cdot 20,3 = 40 \text{ с}$$

$$T_{pr} = 0,5 \cdot \tau_o = 0,5 \cdot 20,3 = 10 \text{ с}$$

3.2.2. Розробимо структурні схеми і програми цифрового імітаційного моделювання САР при детермінованих входніх впливах, проведемо комп'ютерні експерименти з оптимізації параметрів регуляторів та оцінимо результати моделювання.

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

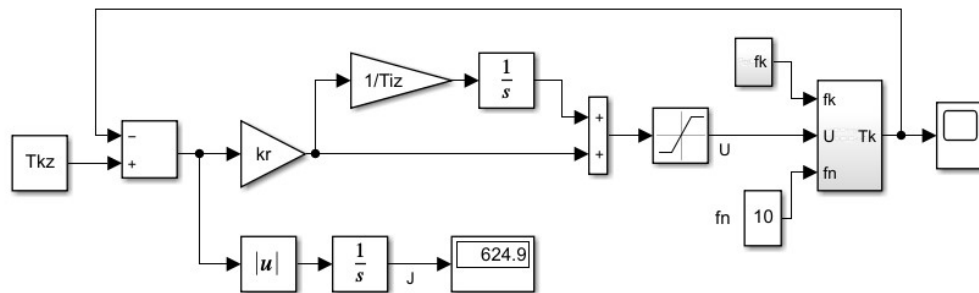


Рис. 3.4 Структурна схема моделювання САР с ПІ-регулятором

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

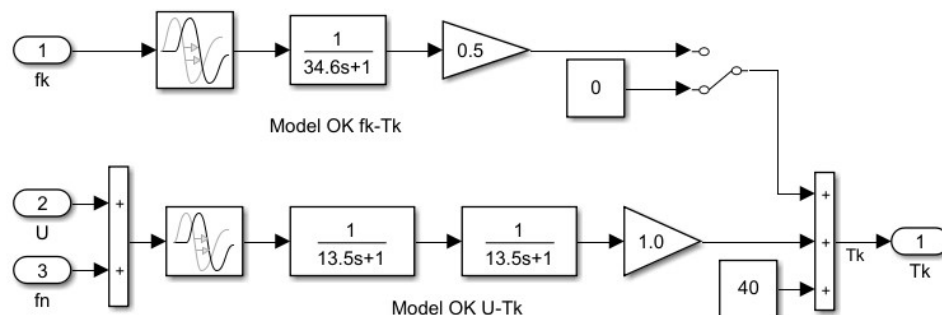


Рис. 3.5 Структурна схема моделювання ОК

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).

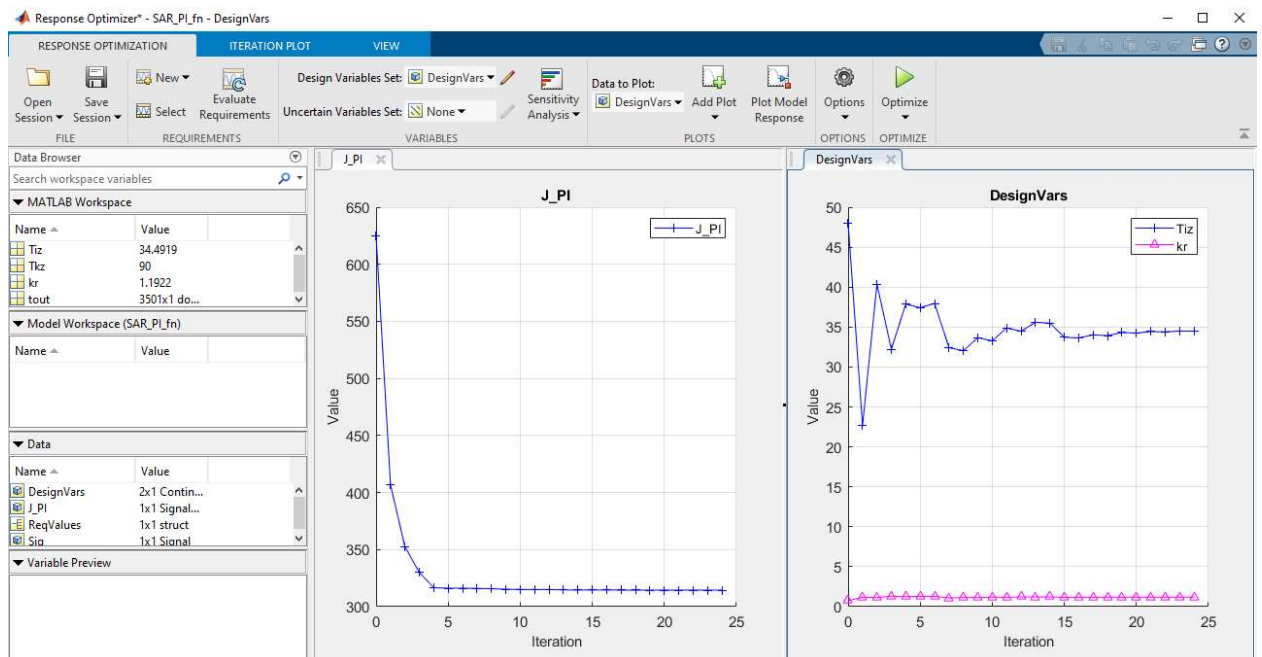


Рис.3.6 – Вигляд вікна оптимізації налаштувань ПІ – регулятора

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 та діапазони їх зміни у вікні, що з'являється при натисканні на випадіючому списку Design Variables Set (див. рис. 3.7б).

Create Requirement

Signal Property
Specify a requirement on a signal property such as the mean value.

Name: J_PI

Specify Signal Property

Property: Signal final value

Type: Constrain property to be <= the bound

Bound: 0

Select Signals

Signal
☒ Sig (SAR_PI_fn/Integrator2:1)

а)

Create Design Variables Set

Create Design Variables set: DesignVars

Variable	Value	Minimum	Maximum	Scale
☒ Tiz	48	5	150	64
☒ kr	0.75	0.1	5	1

б)

Рис. 3.7 Вибір параметрів оптимізації:

а) критерія; б) налаштувань регулятора

Отримавши оптимальні параметри ПІ-регулятора $kr=1,19 \text{ \%}/\text{C}$ $Tiz=34,5\text{c}$, повторно проведемо моделювання САР. Результати моделювання наведені на рис. 3.8б.

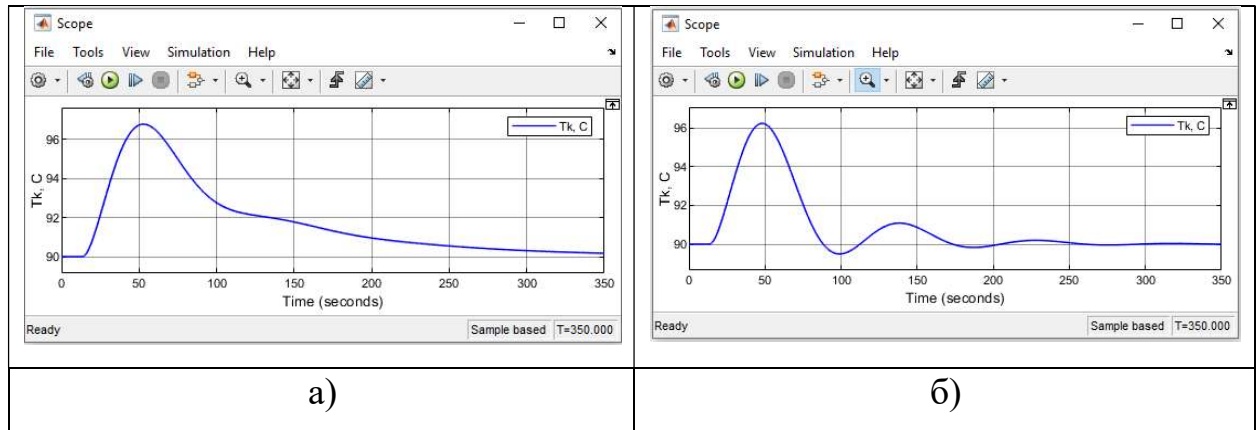


Рис. 3.8 Перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

Таблиця 3.1 Результати порівняння показників якості
САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники		Критерій
	$\Delta T_k \text{ max}$	$T_{пп}, \text{c}$	
До оптимізації	6,8	95	625
Після оптимізації	6,2	70	314

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

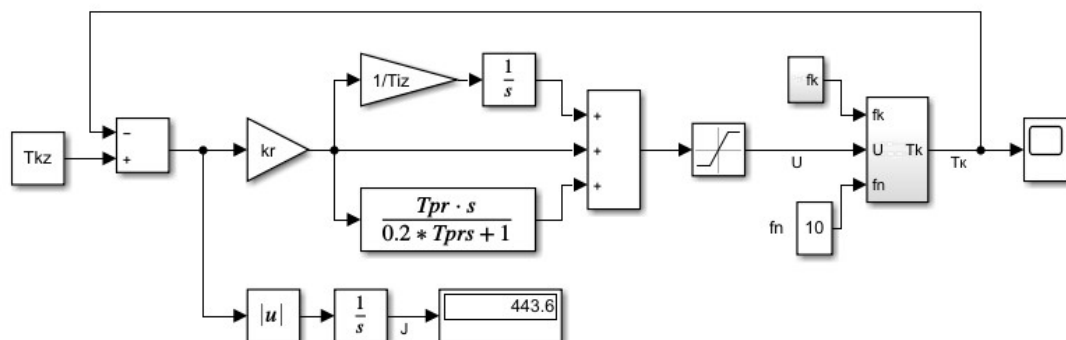


Рис. 3.9 Структурна схема моделювання САР с ПІД-регулятором

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. 3.12а.

Далі проводимо пошук оптимальних параметрів ПІД-регулятора, які мінімізують критерій (3.1). Вибір параметрів налаштувань регулятора показаний на рис. 3.10, а результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведено на рис.3.11.

Edit: DesignVars					
	Variable	Value	Minimum	Maximum	Scale
☒	Tiz	40.0	5	150	64
☒	Tpr	10.0	1	50	16
☒	kr	0.9	0.1	5	1

Рис. 3.10 Вибір параметрів налаштувань регулятора

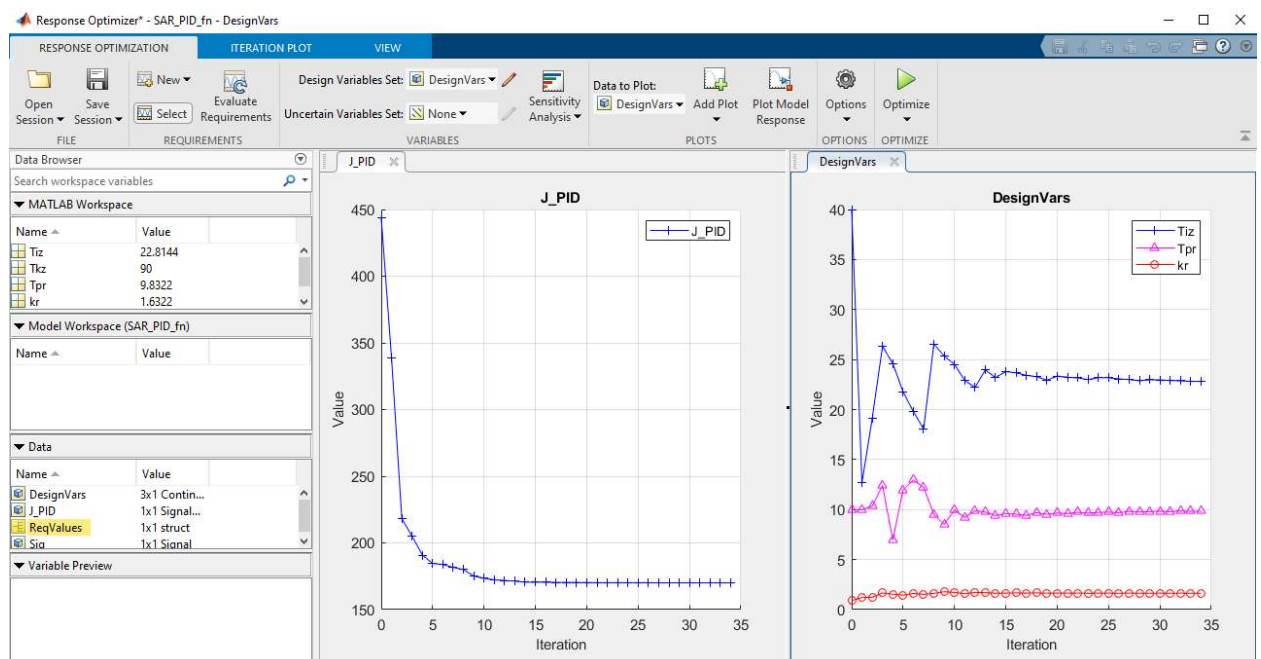


Рис.3.11 – Результат оптимізації налаштувань ПІД – регулятора

Отримавши оптимальні параметри ПІД-регулятора $kr=1,63 \text{ \%}/\text{C}$ $Tiz=22,8\text{с}$, $Tpr=9,83$ сповторно проведемо моделювання САР. Результати моделювання наведені на рис. 3.12б.

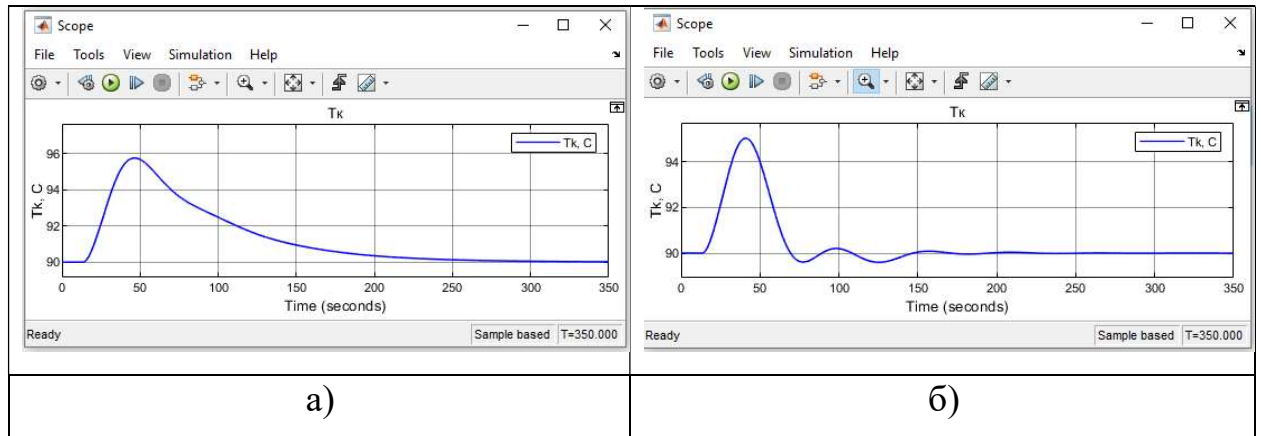


Рис. 3.12 Перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації

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.

Таблиця 3.2

Результати порівняння САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники		Критерій
	$\Delta T_k \max$	$T_{пп}, c$	
До оптимізації	5,7	86	444
Після оптимізації	5,1	55	170

Для проведення порівняльного аналізу САР з оптимально налаштованими параметрами ПІ- і ПІД-регуляторів будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.13.

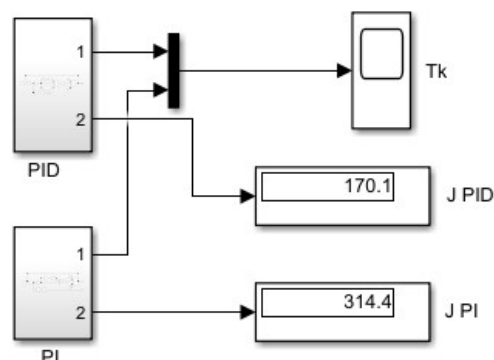


Рис. 3.13 Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.14 і в таблиці 3.3.

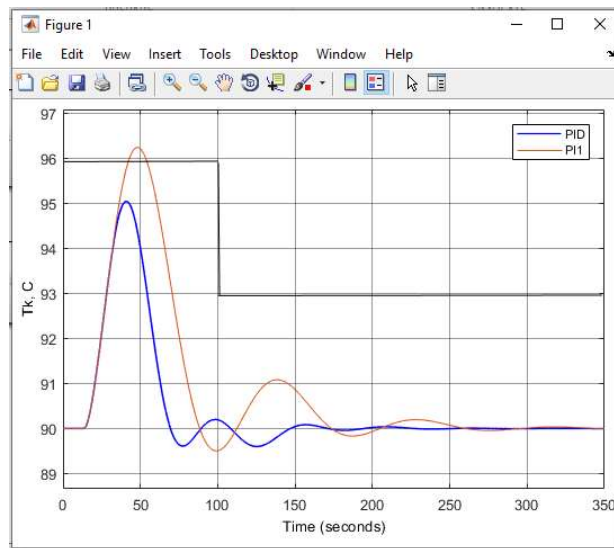


Рис. 3.14 Результати порівняння варіантів САР з ПІ- та ПІД регуляторами

Таблиця 3.3 Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники		Критерій
	$\Delta T_k \text{ max}$	$T_{пп}, \text{ c}$	
ПІ	6,2	70	314
ПІД	5,1	55	170

Як видно з рис. 3.14 та табл. 3.3, САР з ПІД регулятором має кращі показники якості, ніж САР з ПІ-регулятором, який ще й порушує регламентну зону.

3.2.3. Проаналізуємо грубість САР до варіацій параметрів ОК. Слід зазначити, що внаслідок нестаціонарності ОК, параметри каналів, наприклад, запізнення, можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. Це може бути викликано, наприклад, відкладанням солей на ТЕНах, сажі на трубах, по яким рухаються димові 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. 3.15.

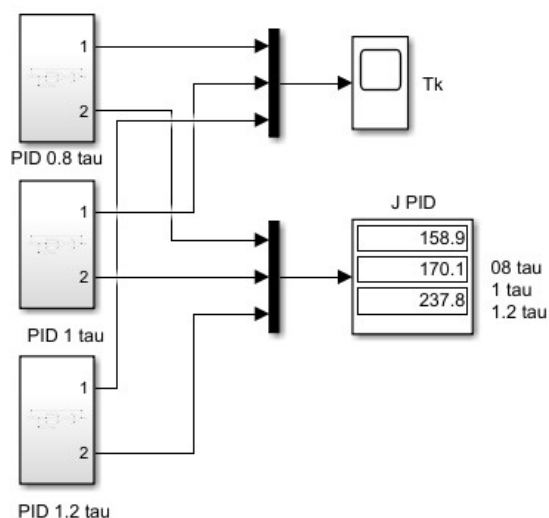


Рис. 3.15 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІД-регулятором на грубість

Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на грубість наведено на рис. 3.16. Як видно з результатів, САР з ПІД-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації запізнення в каналах регулювання ОК дає згасаючі перехідні процеси.

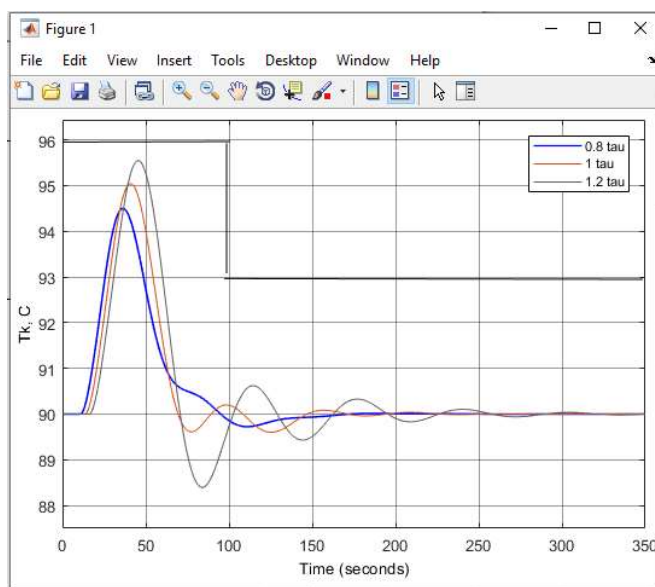


Рис. 3.16 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором в умови дії детермінованих неконтрольованих збурень

Також в умовах дії збурень $f_n(t)$ детермінованого характеру перехідні процеси в САР з ПД-регулятором не виходять за рамки регламентних зон.

3.2.4. Перед тим, як провести аналіз роботи САР при дії на регульовану змінну збурень випадкового характеру, визначимо діапазон частот, в якому САР з ПД-регулятором здатна компенсувати вплив цих збурень на за рахунок зміни керуючої дії $U(t)$. Для цього скористаємося програмою Frequency Response, яку можна викликати на вкладці APPS програми Simulink шляхом натискання на відповідну кнопку.

У вікні, що з'являється при цьому, вибираємо тестовий сигнал у вигляді синусоїди із змінною частотою, який буде діяти на САР, і формуємо його параметри (див. рис. 3.17, 3.18).

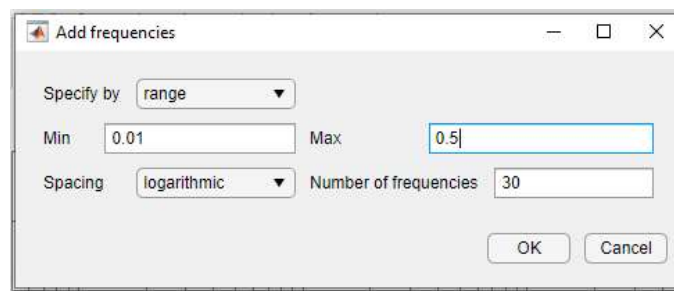


Рис. 3.17 Приклад вибору діапазону частот тестового сигналу

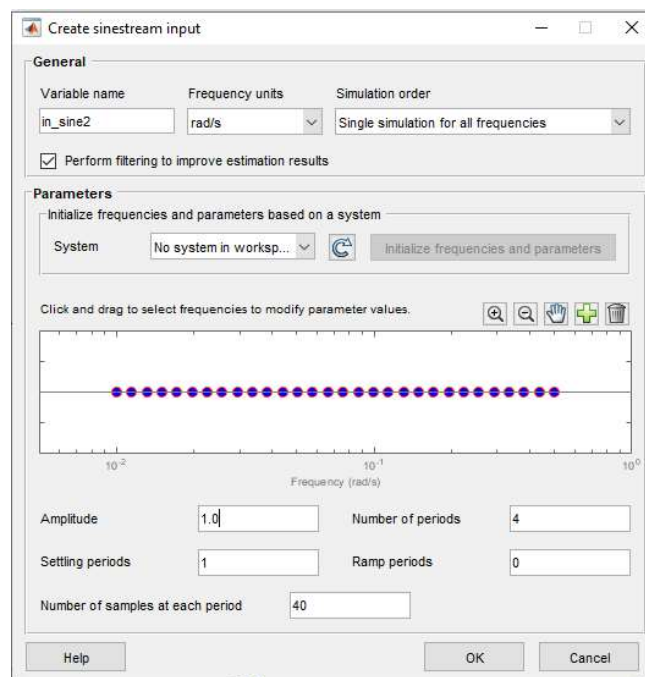


Рис. 3.18 Приклад вибору параметрів тестового сигналу

Точки прикладання тестового сигналу (тип сигналу Input Perturbation) та знімання інформації (тип сигналу Output Measurement) показані на схемі моделювання ОК.

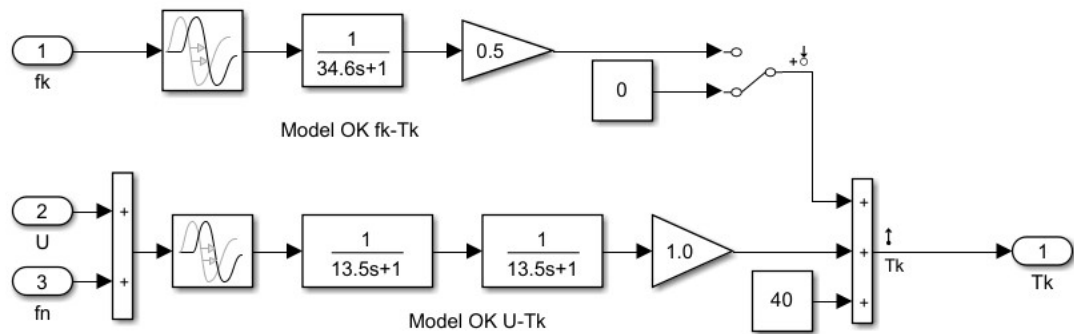


Рис. 3.19 Приклад встановлення типів сигналів
Input Perturbation та Output Measurement

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

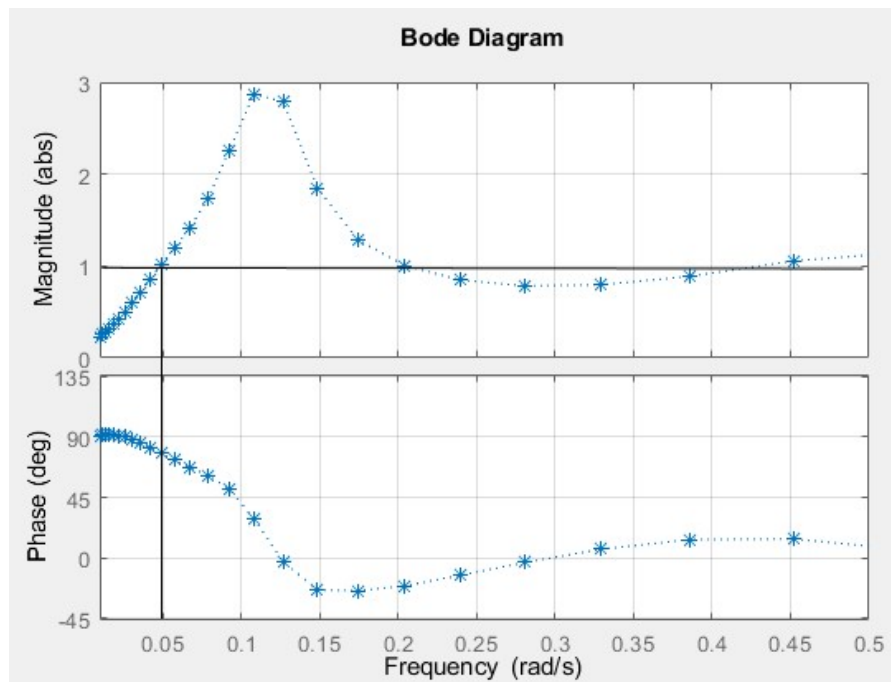


Рис. 3.20 Результат моделювання САР з ПІД регулятором
в програмі Frequency Response – залежності АЧХ і ФЧХ

З рис. 3.20 видно, що САР з ПД-регулятором здатна подавляти вплив збурень на регульовану змінну $T_k(t)$ лише в діапазоні $0 \dots 0,05$ рад/с, коли коефіцієнт в передачі керуючої дії $U(t)$ на $T_k(t)$ менший за одиницю.

Таким чином, можна зробити висновок, що формування контрольованого збурення $f_k(t)$ за допомогою ФНЧ з частотою зрізу $f_z=0,05$ рад/с зроблено коректно, адже ця частота потрапляє в робочий діапазон частот ПД-регулятора.

Проведемо дослідження впливу контрольованого збурення $f_k(t)$ на регульовану змінну в САР з ПІ- і ПД регулятором (рис. 2.21). Для цього встановлюємо нульове значення неконтрольованих збурень $f_n=0$ і перемикаємо ключ в моделі ОК, як показано на рис. 3.18.

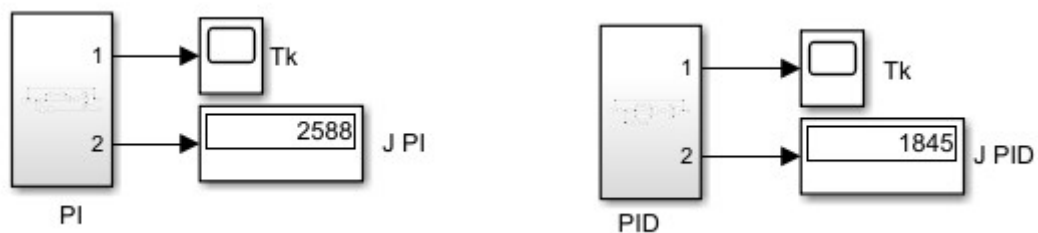


Рис. 2.21 Схема моделювання САР з ПІ- і ПД регуляторами при дії контрольованого збурення

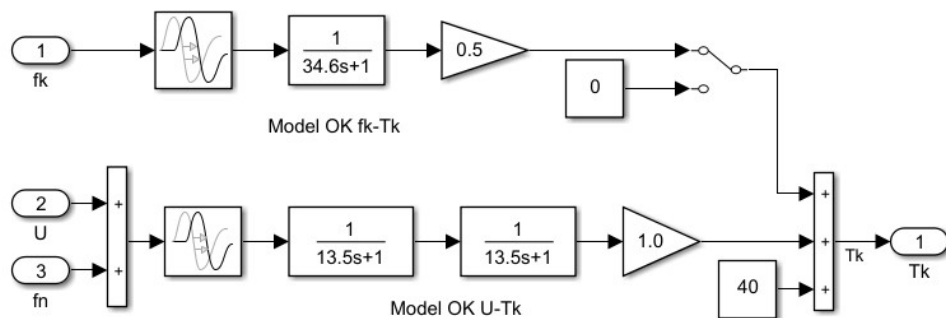


Рис. 3.22 Схема моделі ОК при дії контрольованих збурень $F_p(t)$

Результати моделювання САР з ПІ- і ПД-регуляторами представлені на рис. 3.23, 3.24.

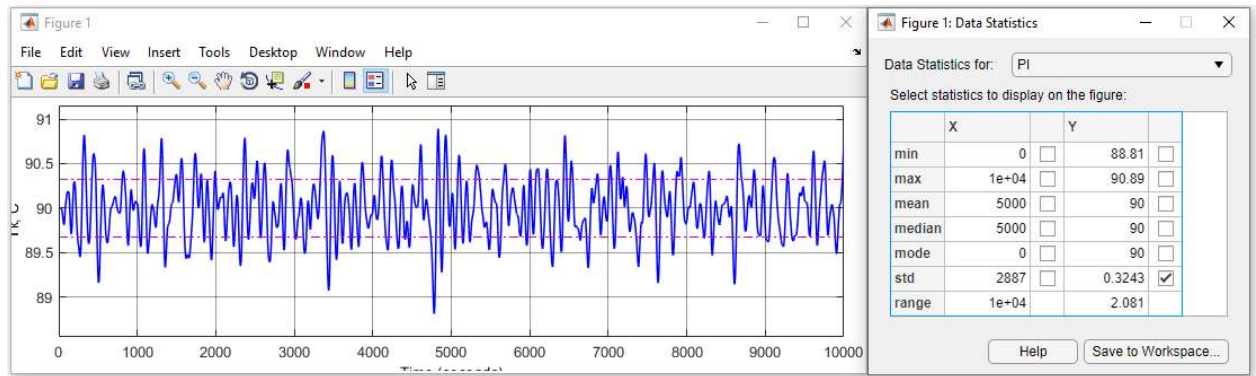


Рис. 3.23 Результати моделювання САР з ПІ-регулятором при дії контрольованого збурення $f_k(t)$

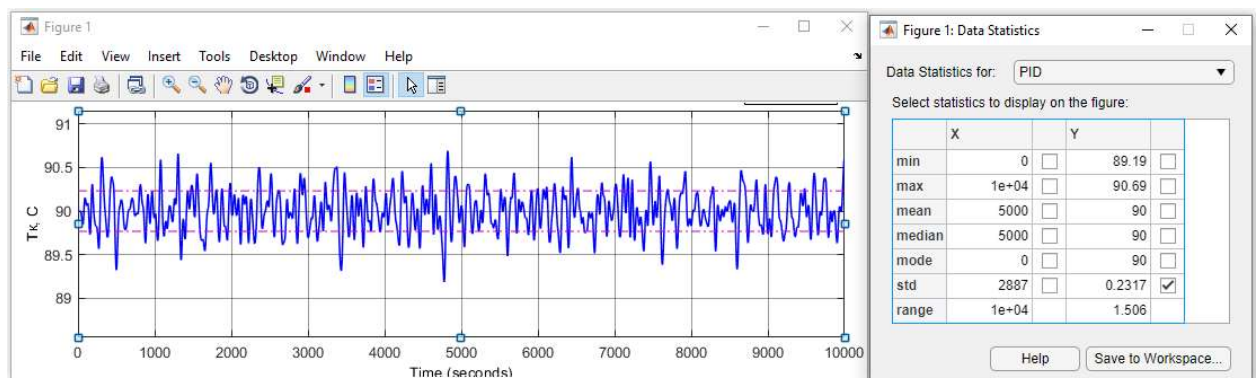


Рис. 3.24 Результати моделювання САР з ПІД-регулятором при дії контрольованого збурення $f_k(t)$

Як видно з рисунків 3.23,3.24, САР з ПІД- регулятором ефективніше подавляє вплив контрольованого збурення $f_k(t)$ на регульовану змінну $T_k(t)$ оскільки статистичний показник середньо-квадратичного відхилення $T_k(t)$ від заданого значення $T_{kz}=90\text{ }^{\circ}\text{C}$ складає $\text{std}=0,2317$. У САР з ПІ-регулятор цей показник складає $\text{std}=0,3243$.

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 $f_k=10$ (див. рис. 3.25).

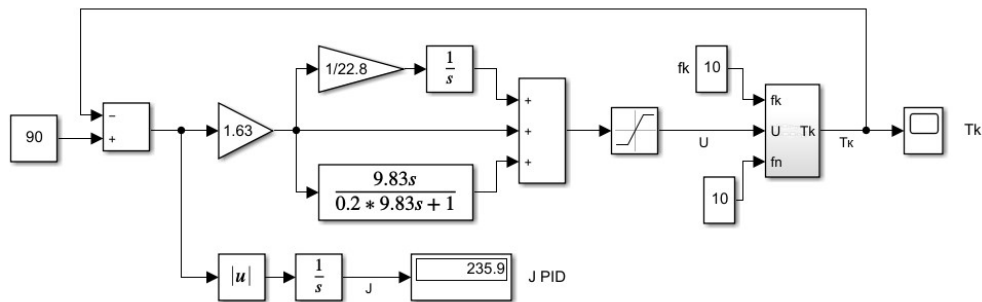


Рис. 3.25 Структурна схема моделі САР при одночасній дії зовнішніх збурень

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

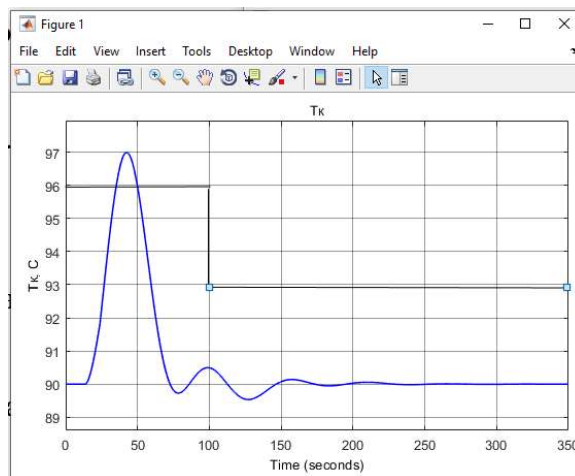


Рис.3.26 Результати моделювання САР при одночасній дії зовнішніх збурень

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 $T_k(t)$ контрольованого збурення $f_k(t)$.

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

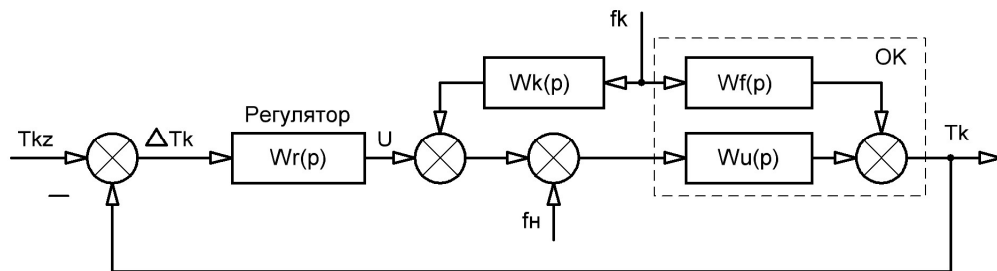


Рис. 3.27 – Структурна схема САР підвищеної динамічної точності

На схемі:

T_{kz} – задане значення регульованої координати, $^{\circ}\text{C}$;

T_k – поточне значення регульованої координати, $^{\circ}\text{C}$;

f_k – контрольоване збурення, $^{\circ}\text{C}$;

ΔT_k – помилка регулювання, $^{\circ}\text{C}$;

U – керуюча дія, $\% \text{х.р.о.}$;

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.

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 $Tk(t)$ в залежності від $fk(t)$ по двом каналам:

$$Tk_1(t) = W_f(p)fk(t)$$

$$Tk_2(t) = W_k(p)W_u(p)fk(t)$$

Щоб компенсувати вплив $fk(t)$ на $Tk(t)$ потрібно, щоб

$$Tk_1(t) = -Tk_2(t)$$

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

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

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

$$W_f(p) = \frac{0,5e^{-23,9p}}{34,6p + 1};$$

$$W_u(p) = \frac{1e^{-20,3p}}{19,1p + 1}.$$

$$W_k(p) = -\frac{0,5e^{-23,9p}}{34,6p + 1} : \frac{1e^{-20,3p}}{19,1p + 1} = \frac{e^{-29p}}{30p} * \frac{20p}{e^{-21p}} = -\frac{19,1p + 1}{34,6p + 1} * e^{-3,6p}$$

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.

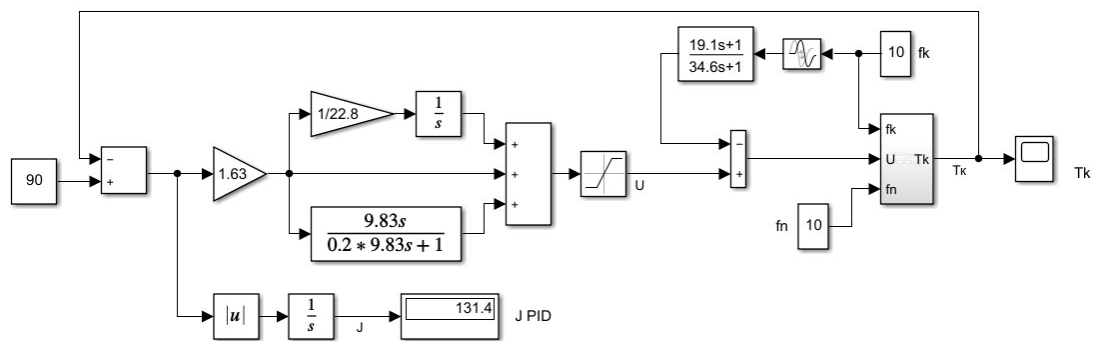


Рис. 3.28 – Структурна схема моделювання САР ПДТ

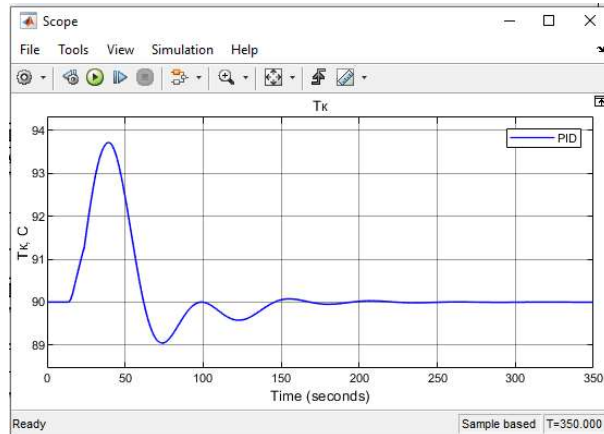


Рис. 3.29 Результати моделювання САР ПДТ при дії збурень
детермінованого характеру

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 приведенна на рис. 3.30, а результати перевірки – на рис. 3.31.

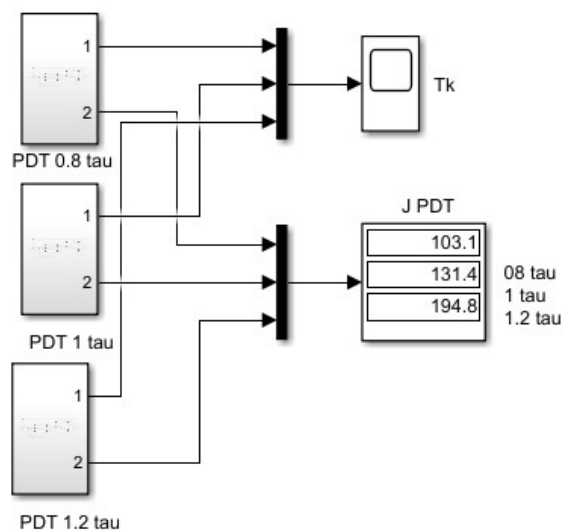


Рис. 3.30 – Схема моделювання САР ПДТ
при перевірці на грубість в умовах варіацій параметрів ОК

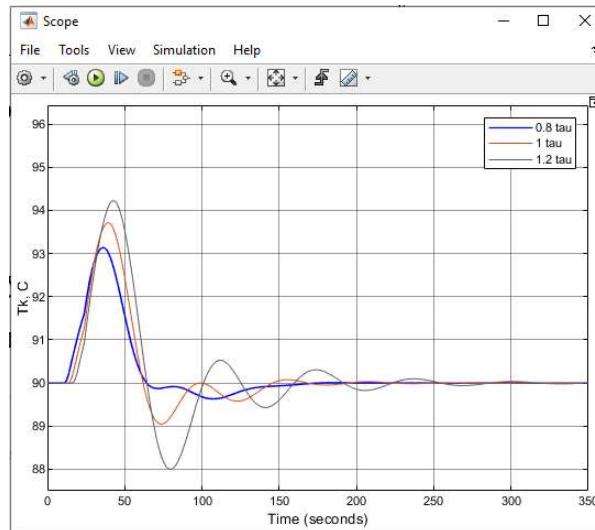


Рис. 3.31 - Аналіз на грубість САР ПДТ в умови дії детермінованих збурень

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

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. 3.33, САР ПДТ має менше максимальне динамічне відхилення та менший час перехідного процесу, ніж САР з ПІД-регулятором.

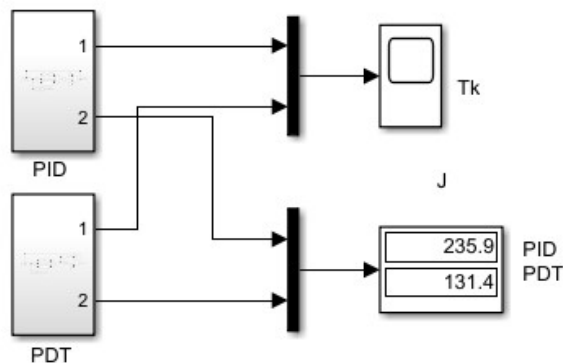


Рис. 3.32 – Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

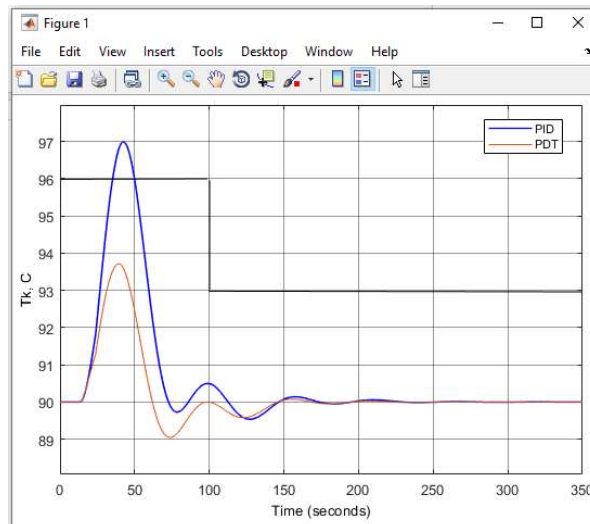


Рис. 3.33 – Перехідні процеси САР з ПІД-регулятором та САР ПДТ

Таблиця 3.4 Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники		Критерій
	$\Delta T_k \max$	$T_{пп}, c$	
ПДТ	3,7	46	131
ПІД	7,0	60	236

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

ВИСНОВОК

В результаті виконання 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 при дії на об'єкт керування неконтрольованих збурень. Властивості об'єкта необхідно знати тільки по каналу керування.

Зважаючи на властивості об'єкту керування, був зроблений висновок про доцільність розгляду структурних схем САР тільки з ПІ - і ПІД-регуляторами, причому під час моделювання САР з ПІД-регулятором показала 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. Відповідно, така структура САР може бути рекомендована до впровадження.

КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ АГРЕГАТОМ

4.1. Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логіко-програмного) керування технологічним агрегатом та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій

Коптильня як технологічний агрегат входить складовою частиною в ділянку, де здійснюється ряд технологічних операцій, які перераховані на рис. 1.2. В самій коптильні здійснюється підсушка риби теплим повітрям з температурою 40...60 °С, її проварка гарячим повітрям з температурою 110...140 °С і потім копчення риби димоповітряної сумішшю з температурою 90...120 °С. Ці операції здійснюються у певних проміжках часу в залежності від розміру риби і повторюються періодично для кожної партії продукту.

Рух повітря в коптильні забезпечується циркуляційним М1 та витяжним М2 вентиляторами, а його напрямок залежить від положення заслінок: подачі зовнішнього повітря ГК0, диму ГК1, циркуляції ГК3 та утилізації ГК3 (рис. 4.1).

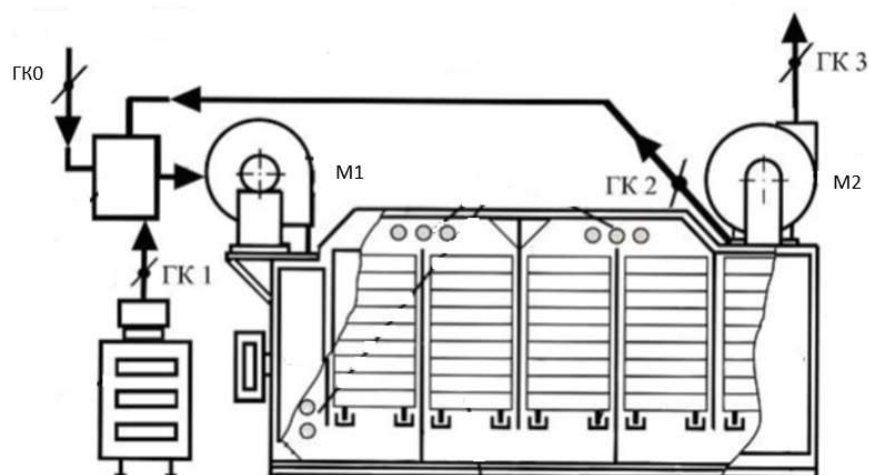


Рис. 4.1 Схема руху повітря в коптильні

Стабілізацію температури повітря в копильні 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 копильні, то ці процеси не є автоматичними, бо вони здійснюються оператором-технологом, який може вмикати і вимикати електроприводи М1, М2 і електромагнітні приводи заслінок по місцю на щиті керування, орієнтуючись на сигнальні лампи.

Модернізація технічних засобів системи логічного керування копильні полягає в застосуванні ПЛК та панелі оператора, що дасть змогу оператору вмикати і вимикати пристрої дистанційно, при зміні їх зображень на екрані панелі в SCADA-системі.

Оператор може припуститися помилки, наприклад через втому, і тому доцільно створити алгоритми і програми для автоматичного пуску та зупинки копильні, 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 словами, а потім складемо схеми алгоритмів функціонування.

Для здійснення технологічного пуску необхідно:

- після завантаження візків із сирою рибою в копильню із початкового стану перейти в стан підсушки, для чого забезпечити рух повітря ззовні в копильню і далі на утилізацію, прогріти його ТЕНами до температури 50 °С, стабілізувати цю температуру на протязі 15 хвилин;

- із стану підсушки перейти до стану варки риби, для чого забезпечити рух повітря в коптільні із рециркуляцією, підігріти повітря до температури 120 °С, стабілізувати цю температуру на протязі 15 хвилин;

- із стану варки риби перейти до стану її копчення, для чого забезпечити генерацію диму, рух димоповітряної суміші в коптільні із рециркуляцією, підігріти димоповітряну суміш до температури 90 °С, стабілізувати цю температуру на протязі 20 хвилин.

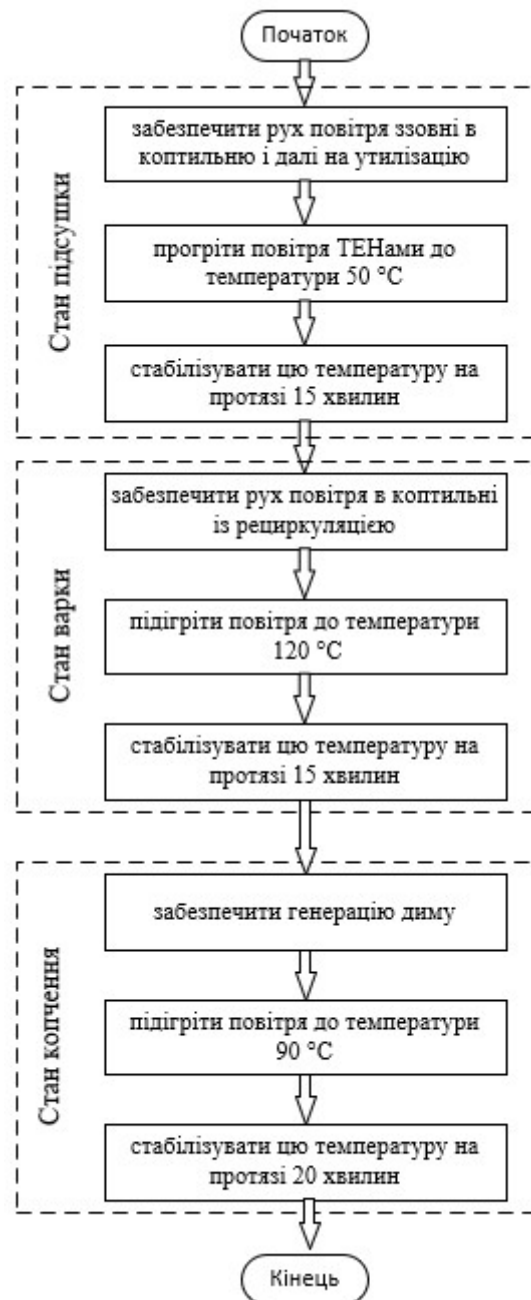


Рис. 4.2 Алгоритм функціонування при пускі коптільні

Для здійснення технологічної зупинки необхідно:

- із стану копчення перейти в початковий стан, для чого зупинити генерацію диму, вимкнути ТЕНи, забезпечити рух повітря ззовні в копильню і далі на утилізацію на протязі 2 хвилин, вивантажити візки з готовим продуктом із копильні.



Рис. 4.3 Алгоритм функціонування при зупинці копильні

Передаварійна ситуації в копильні пов'язана із підвищенням температури повітря вище допустимого рівня. В для запобігання аварії необхідно вимкнути подачу електроенергії до ТЕНів. Це дозволить запобігти браку продукції.

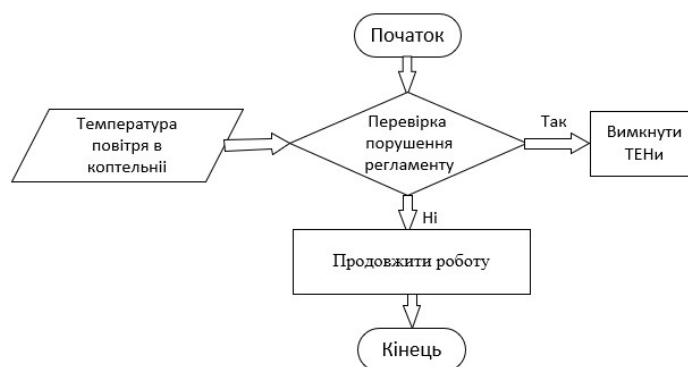


Рис. 4.4 Алгоритм функціонування при блокуванні передаварійної ситуації копильні

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 копильні слід здійснювати в наступній послідовності:

- увімкнути соленоїди засувки ГК0 на подачі зовнішнього повітря та ГК3 на його утилізацію;
- увімкнути електропривод М2 витяжного вентилятора;
- перевести регулятор температури з ручного в автоматичний режим роботи, встановивши задане значення $T_z=50^{\circ}\text{C}$;
- стабілізувати температуру 15 хвилин;
- вимкнути електропривод М2 витяжного вентилятора;
- вимкнути соленоїди засувки ГК0 на подачі зовнішнього повітря та ГК3 на його утилізацію;
- увімкнути соленоїд засувки ГК2 на рециркуляцію;
- увімкнути електропривод М1 циркуляційного вентилятора;
- встановити регулятору температури задане значення $T_z=120^{\circ}\text{C}$;
- стабілізувати температуру 15 хвилин;
- увімкнути соленоїд засувки ГК1 подачі диму;
- увімкнути систему керування димогенератором;
- встановити регулятору температури задане значення $T_z=90^{\circ}\text{C}$;
- стабілізувати температуру 20 хвилин.

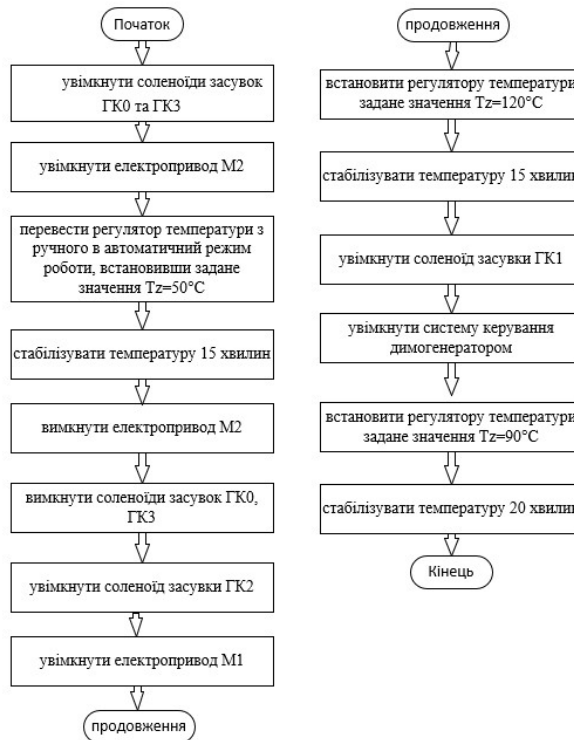


Рис. 4.5 Алгоритм керування при пускі коптильні

Технологічну зупинку коптильні слід здійснювати в наступній послідовності:

- вимкнути систему керування димогенератором;
- вимкнути соленоїд засувки ГК1 подачі диму;
- перевести регулятор температури з автоматичного в ручний в режим роботи, встановивши задане значення $T_z=20^{\circ}\text{C}$
- вимкнути електропривод М1 циркуляційного вентилятора;
- увімкнути соленоїди засувки ГК0 на подачі зовнішнього повітря та ГК3 на його утилізацію;
- увімкнути електропривод М2 витяжного вентилятора;
- через 2 хвилини вимкнути електропривод М2 витяжного вентилятора
- вимкнути соленоїди засувки ГК0 на подачі зовнішнього повітря та ГК3 на його утилізацію;

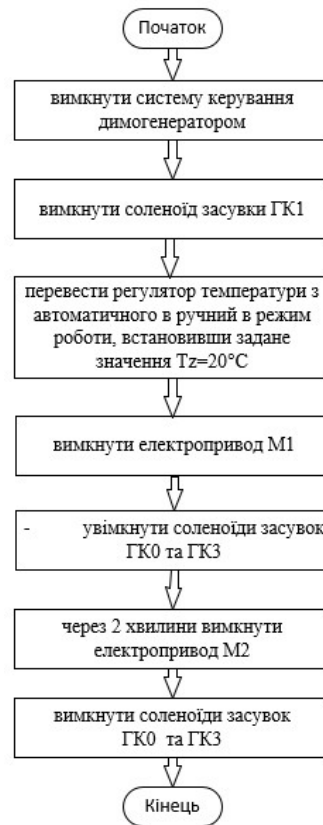


Рис. 4.6 Алгоритм керування при зупинці коптильні

Блокування передаварійних ситуацій слід здійснювати в наступній послідовності:

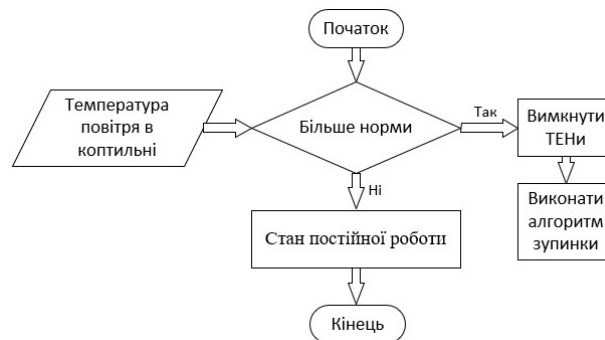


Рис. 4.7 Алгоритм керування при блокуванні
передаварійних ситуацій коптильні

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

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

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

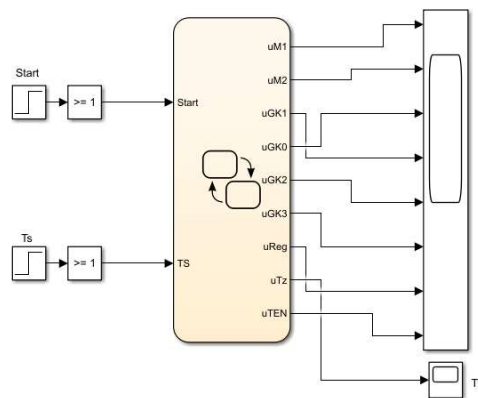


Рис. 4.8 Схема моделювання СЛК в програмі Simulink

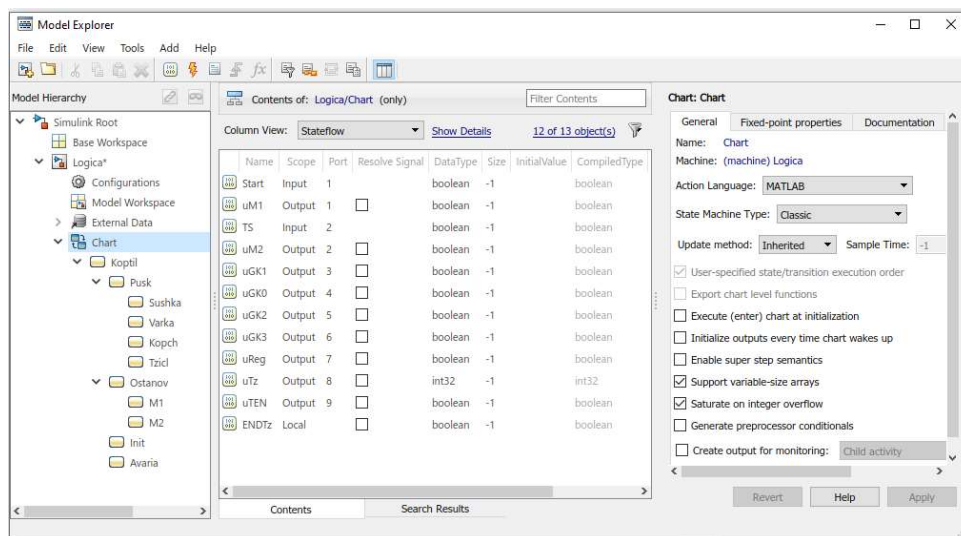


Рис. 4.9 Приклад налаштування імен і типів вхідних і вихідних сигналів чату в програмі Model Explorer

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

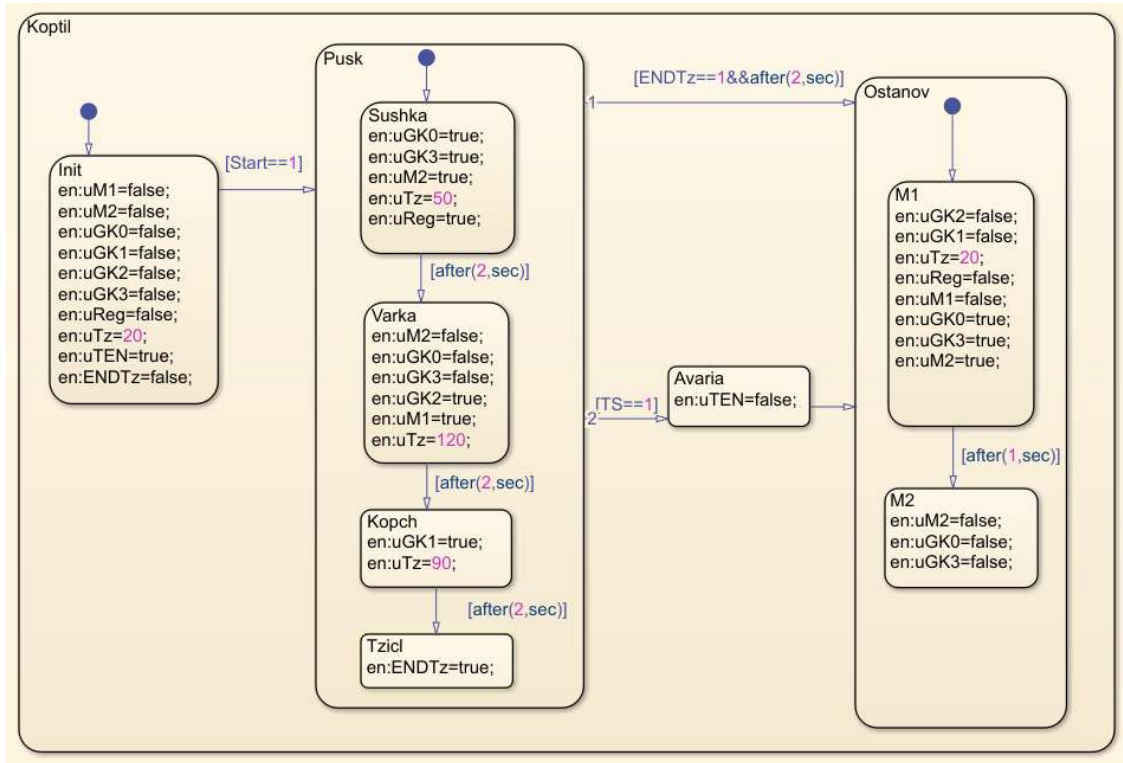
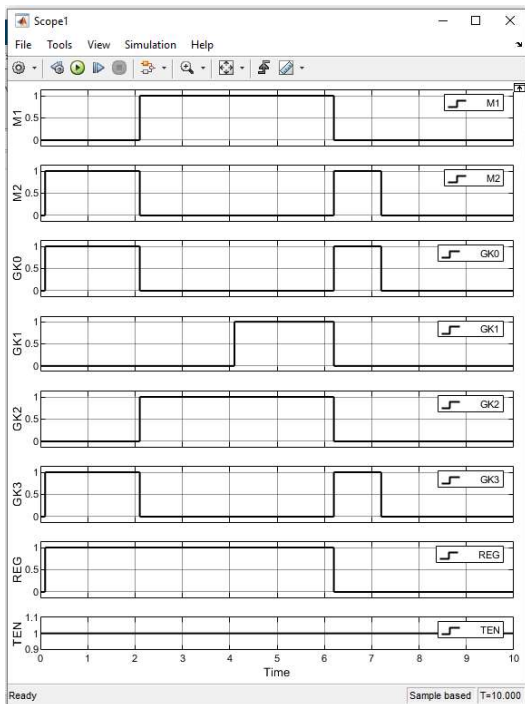


Рис. 4.10 Вигляд Chart Koptil

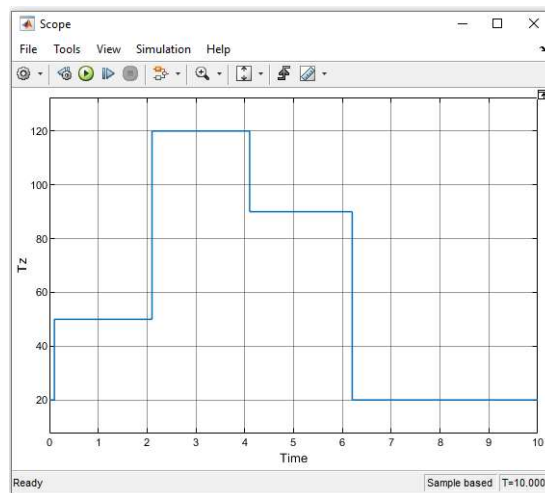
Підчат Init виконується першим, оскільки має на вході подію по замовчуванню Default Transition. Перехід від нього до підчату Pusk здійснюється при умові Start==1, тобто коли надійшла команда від оператора Start. Перехід від підчату Pusk до підчату Ostanov можливий при виконанні умови [ENDTz==1&&after(2,sec)]. В підчатах Pusk і Ostanov стан внутрішніх підчатів SushKa, Varka, Kopch, Tzicl, M1, M2 перемикається в заданій послідовності із необхідними затримками у часі, які були реалізовані завдяки застосуванню функції after(n, sec). При вході в кожен із цих підчатів виконується команда en:uXX=true або en:uXX=false, яка змінює значення вихідних командних змінних блоку Chart Koptil.

4.5. Імітаційне моделювання системи логічного керування

Результати моделювання СЛК в програмі Simulink, представлені на рис. 4.11, 4.12 показують, що система керування працює коректно.



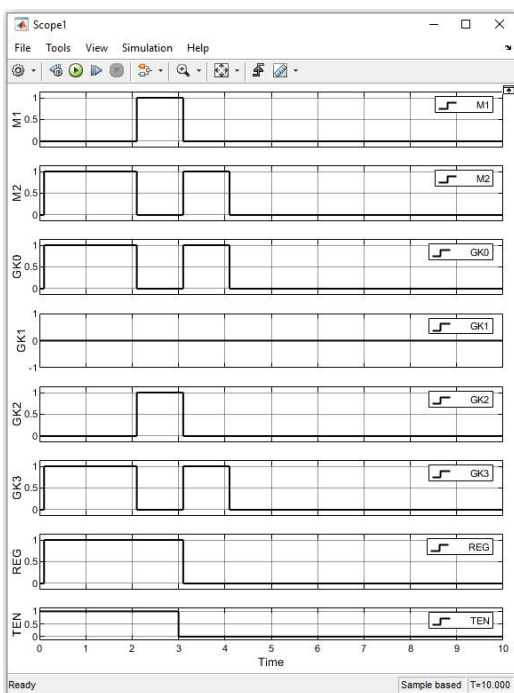
а)



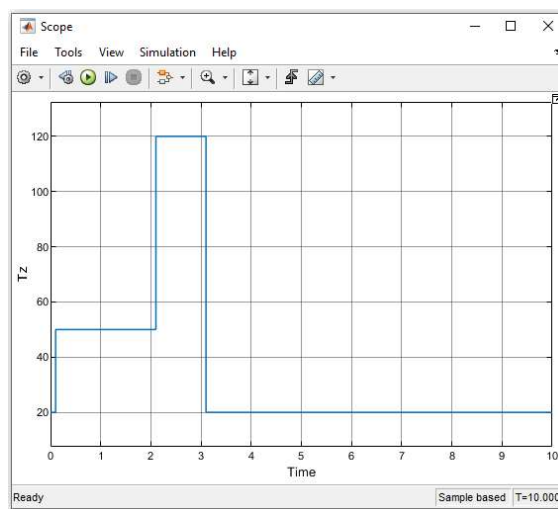
б)

Рис. 4.11 Зміни у часі при нормальному режимі роботи:

а) логічних змінних; б) заданого значення регулятора температури



а)



б)

Рис. 4.11 Зміни у часі при аварії на 3-й секунді:

а) логічних змінних; б) заданого значення регулятора температури

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 коптельні. Для дослідження СЛК коптельні 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.

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: тепле повітря з температурою 40...60 °С, димоповітряна суміш в коптильні з температурою 110...140 °С - з нею стикаються чутливі елементи датчиків температури, повітряні заслінки, вентилятори.

5.1.2 Характеристики виробничих приміщень, де розташовуються технологічне обладнання та технічні засоби автоматизації: процес копчення риби здійснюється в коптильні, яка встановлений у приміщенні цеху, температура повітря в якому змінюється в діапазоні 18...25 °С. Цей процес є пожежонебезпечним, оскільки в димогенераторі спалюється дерев'яні опилки і в приміщенні можуть виникнути фактори, які здатні викликати пожежу.

«Правила улаштування електроустановок» визначають:

жарке приміщення - приміщення, в якому під впливом різних теплових випромінювань температура повітря перевищує постійно або періодично + 35 °С (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 встановлена коптильня, слід віднести до жаркого приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

«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 горючий пил або волокна.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлена коптильня, 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. 5.1, 5.2).

Табл. 5.1 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. 5.2 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 встановлена коптильня, слід вибрати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP54.

Оскільки датчики температури димоповітряної суміші монтуються безпосередньо на корпусі коптильні, то їх виконання повинно передбачати ступінь захисту не менше IP54.

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 копчення риби використовуються наступні технічні засоби:

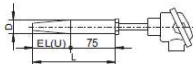
5.2.1 Для виміру температури димоповітряної суміші в коптильні застосований датчик температури JUMO 902820/50- термоперетворювач опору (Pt100) фірми JUMO з вбудованим нормуючим перетворювачем

dTRANS T03 В Type 707031 - аналоговий вихід 4-20 мА пропорційний температурі 50...100 °С (під замовлення). Живлення 24В DC, ступінь захисту IP 68, Ex version II 1/2 G Ex ia IIC T1...T6 Ga/Gb (див. рис. 5.1, рис. 5.2).



а)

Технічні характеристики:

902820/50	Screw-in RTD temperature probe with thermowell DIN 43772, form 4	
(2) Operating temperature (additional versions upon request)		
x 150	-200 to +600 °C (wire-wound temperature sensor)	
x 386	-50 to +260 °C (thin film temperature sensor)	
x 402	-50 to +400 °C (thin film temperature sensor)	
x 415	-50 to +600 °C (thin film temperature sensor)	
(3) Measuring insert (additional versions upon request)		
x 1001	1× Pt100 in 3-wire circuit	
x 1003	1× Pt100 in 2-wire circuit	
x 1011	1× Pt100 in 4-wire circuit	
x 2001	2× Pt100 in 3-wire circuit	
x 2003	2× Pt100 in 2-wire circuit	
x 2011	2× Pt100 in four-wire circuit (only in conjunction with terminal head 321)	
(4) Tolerance class according to DIN EN 60751:2009 / IEC 60751:2008 (additional versions upon request)		
x 1	Class B (standard) (-50 to +500 °C)	
x 2	Class A (-30 to +300 °C)	
x 3	Class AA (0 to 150 °C)	
(5) Protection tube diameter D in mm (additional versions upon request)		
x 24	Ø 24 mm reduced to Ø 12.5 mm	
(6) Thermowell dimensions (insertion length/total length)		
x 205	65 mm/140 mm (previously form D1 according to DIN 43767)	
x 325	125 mm/200 mm (previously form D2 according to DIN 43767)	
---	Upon request (Code: U + L)	
(7) Thermowell material		
x 26	Stainless steel 1.4571 (operating temperature 600 °C)	

б)

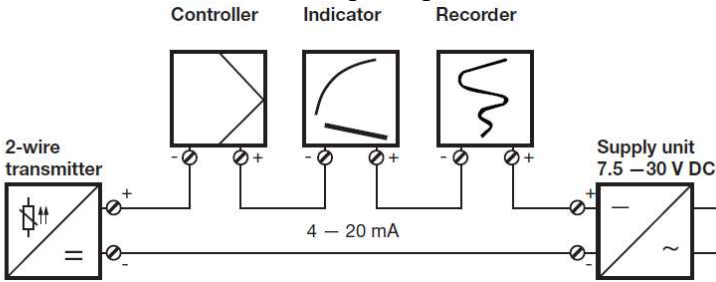
Рис.- 5.1. Датчик температури JUMO 902820/50:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики



а)

Технічні характеристики:



б)

Рис.5.2.- Вбудований перетворювач температури (4/20 мА) dTRANS T03 В Type 707031:

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 електричної енергії, яка підводиться до ТЕНів, використаний блок керування тиристорами та симісторами ОВЕН БУСТ2

	<table><tr><th>Найменування</th><th>Значення</th></tr><tr><td colspan="2">Живлення</td></tr><tr><td>Напруга живлення</td><td>230 В</td></tr><tr><td>Частота</td><td>50 Гц</td></tr><tr><td>Допустиме відхилення напруги живлення від номіналу</td><td>-15...+10 %</td></tr><tr><td>Споживана потужність, не більше</td><td>12 ВА</td></tr><tr><td colspan="2">Входи</td></tr><tr><td>Входи керування / вхідний опір</td><td>0...1 В / 47 кОм 0...10 В / 47 кОм 0...20 мА / 50 Ом 4...20 мА / 50 Ом</td></tr><tr><td>Напруга на вході «Блокування»:</td><td></td></tr><tr><td>• низького рівня</td><td>0,0...0,4 В</td></tr><tr><td>• високого рівня</td><td>2,4...5,0 В</td></tr><tr><td colspan="2">Виходи</td></tr><tr><td>Імпульсний струм керування тиристором, не менше</td><td>0,5 або 1,5 А, залежно від налаштувань блоку</td></tr><tr><td colspan="2">Регулятор</td></tr><tr><td>Метод керування тиристорами або симісторами</td><td>Фазовий або за кількістю напівперіодів</td></tr><tr><td>Кількість використовуваних фаз</td><td>1...3</td></tr></table>	Найменування	Значення	Живлення		Напруга живлення	230 В	Частота	50 Гц	Допустиме відхилення напруги живлення від номіналу	-15...+10 %	Споживана потужність, не більше	12 ВА	Входи		Входи керування / вхідний опір	0...1 В / 47 кОм 0...10 В / 47 кОм 0...20 мА / 50 Ом 4...20 мА / 50 Ом	Напруга на вході «Блокування»:		• низького рівня	0,0...0,4 В	• високого рівня	2,4...5,0 В	Виходи		Імпульсний струм керування тиристором, не менше	0,5 або 1,5 А, залежно від налаштувань блоку	Регулятор		Метод керування тиристорами або симісторами	Фазовий або за кількістю напівперіодів	Кількість використовуваних фаз	1...3
Найменування	Значення																																
Живлення																																	
Напруга живлення	230 В																																
Частота	50 Гц																																
Допустиме відхилення напруги живлення від номіналу	-15...+10 %																																
Споживана потужність, не більше	12 ВА																																
Входи																																	
Входи керування / вхідний опір	0...1 В / 47 кОм 0...10 В / 47 кОм 0...20 мА / 50 Ом 4...20 мА / 50 Ом																																
Напруга на вході «Блокування»:																																	
• низького рівня	0,0...0,4 В																																
• високого рівня	2,4...5,0 В																																
Виходи																																	
Імпульсний струм керування тиристором, не менше	0,5 або 1,5 А, залежно від налаштувань блоку																																
Регулятор																																	
Метод керування тиристорами або симісторами	Фазовий або за кількістю напівперіодів																																
Кількість використовуваних фаз	1...3																																
а)	б)																																

Рис. 5.3 Блок БУСТ2

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

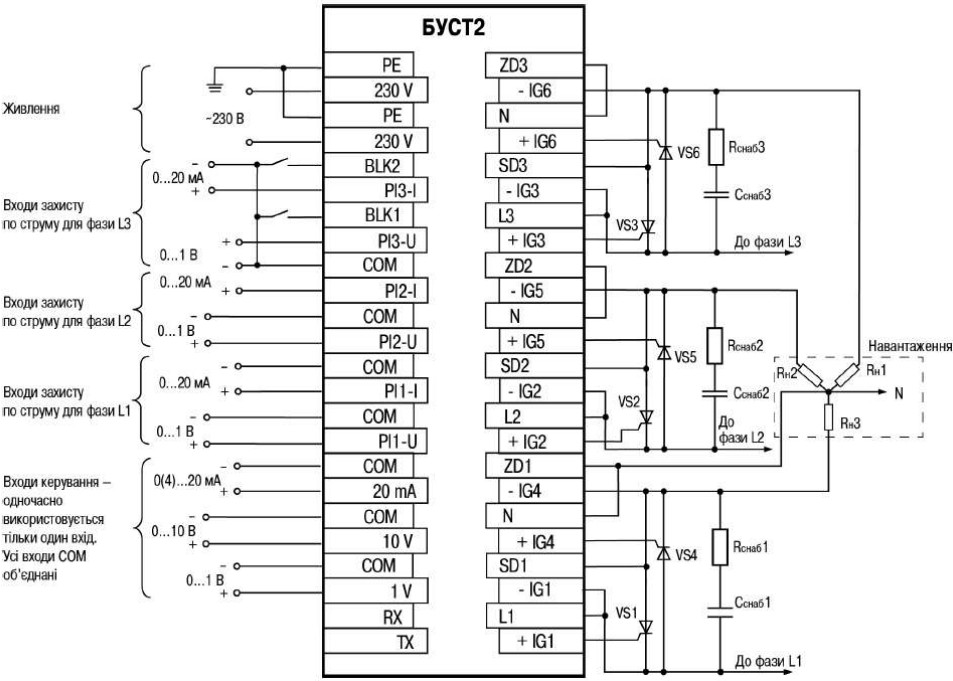


Рис. 5.4 Схема підключення навантаження типу «зірка з нейтраллю»

5.3.2. Для керування положенням повітряних заслінок застосовується виконавчий механізм Belimo LR24A60 з лінійним приводом

	Напруга живлення AC/DC 24 V 50/60 Hz Потужність 1,5 Вт Час повороту 150с/100мм Крутний момент Мін. 150 Н Ступінь захисту IP54 при встановленні в будь-якому положенні Температура експлуатації -30 ... +50 С Довжина ходу 60, 100, 200, 300 мм
а)	б)

Рис. 5.5 Виконавчий механізм Belimo LR24A60

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

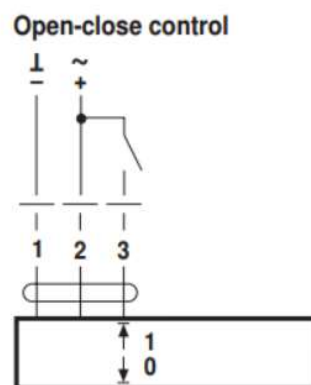


Рис. 5.6 Схема підключення Belimo LR24A60

5.3.3. Для електроприводу вентилятора застосований автомат захисту двигуна Schneider Electric GV2ME16 потужністю 5,5 кВт



Технічні характеристики:
 номінальний струм 9-14 А;
 струм короткого замикання
 (AC) 50-60 Hz 240 V [kA] 50;

Рис. 5.7 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики
 автоматичного вимикача Schneider Electric GV2ME16

Для електроприводу вентилятора застосований контактор Schneider Electric LC1D12M7 потужністю 5,5 кВт



Технічні характеристики:
 номінальний струм 12 А;
 номінальна робоча напруга 1000 В;
 номінальна робоча напруга катушки 220 В

Рис. 5.8 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики
 контактора Schneider Electric LC1D12M7

Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24В DC, 6А, LED (RXM4AB2BDPVS) служить для розмноження сигналів та гальванічного розподілу.

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 ТП копчення риби за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні оброблятися в керуючому пристрої - контролері.

Табл. 5.3 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	Температура димоповітряної суміші в коптельні	A	I	4...20 mA DC
2	Температура диму на виході з димогенератора	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 авт.вимикача M2	D	I	24 V DC
7	Сигнал стану контактора M2	D	I	24 V DC
8	Сигнал перемикача режиму M2	D	I	24 V DC
9	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
10	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
11	Сигнал керування заслінкою ГК0	D	O	24 V DC
12	Сигнал керування заслінкою ГК1	D	O	24 V DC
13	Сигнал керування заслінкою ГК2	D	O	24 V DC
14	Сигнал керування заслінкою ГК3	D	O	24 V DC
15	Сигнал керування блоком БУСТ2	A	O	4...20 mA DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 2, AO – 1, DI – 6, DO – 6

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 настінній шафі зі ступенем захисту не менш IP54 в окремому від технологічного устаткування приміщенні.

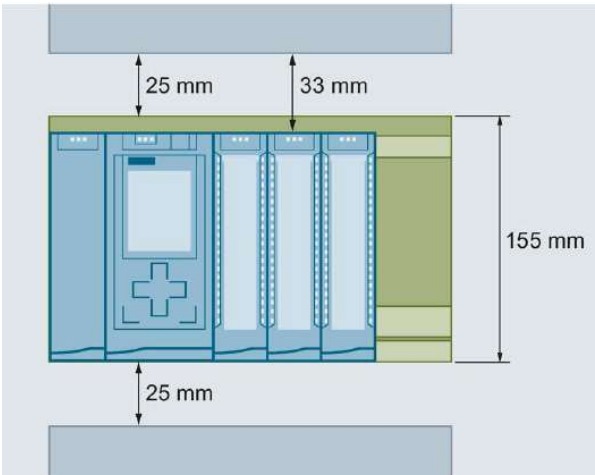


Рис. 5.9 Рекомендації з монтажу Simatic S7-1500 у шафі

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

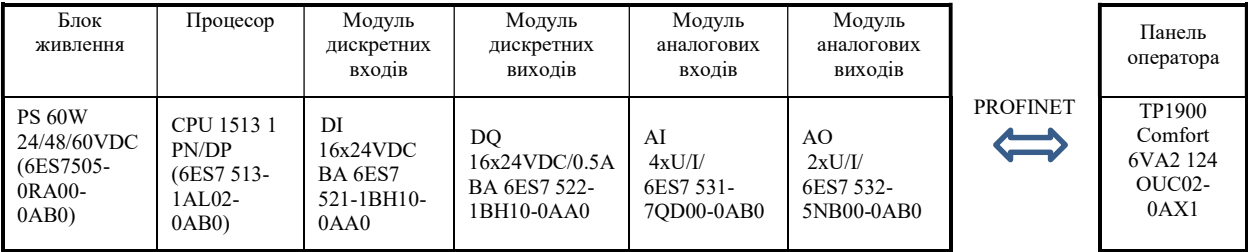


Рис. 5.10 Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

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

Рис. 5.11 Технічні дані CPU 1513 1 PN

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

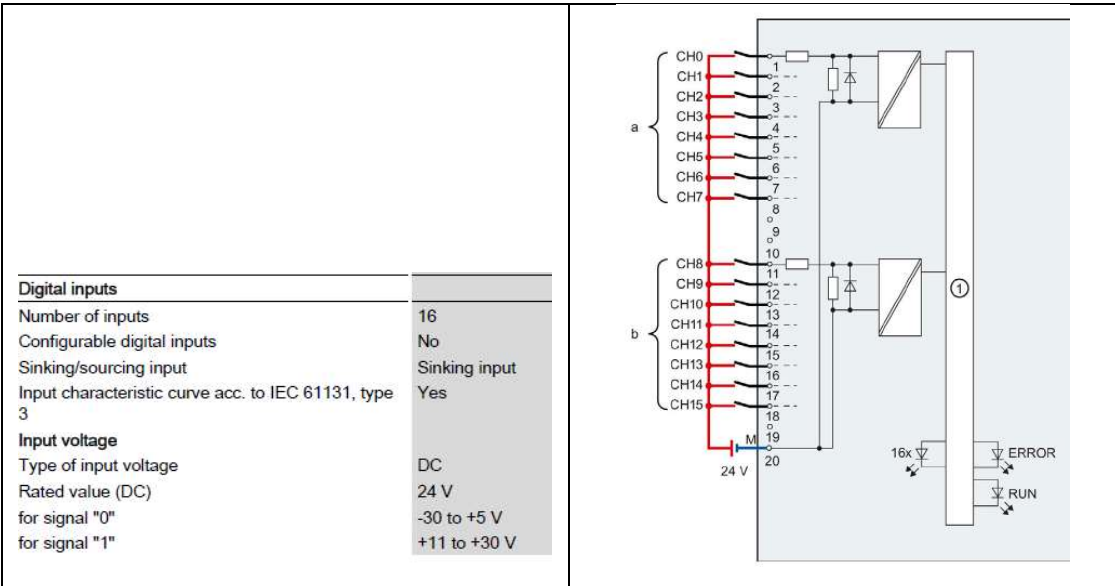


Рис. 5.12 Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

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

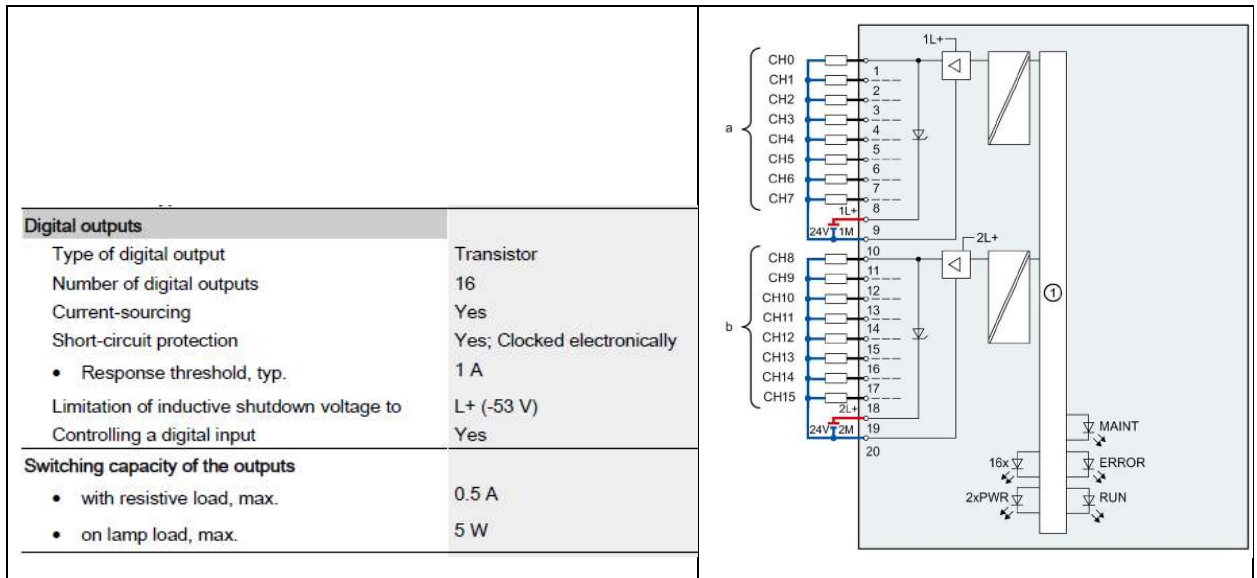


Рис. 5.13 Технічні характеристики та схема підключень

DQ 16x24VDC/0.5A BA

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

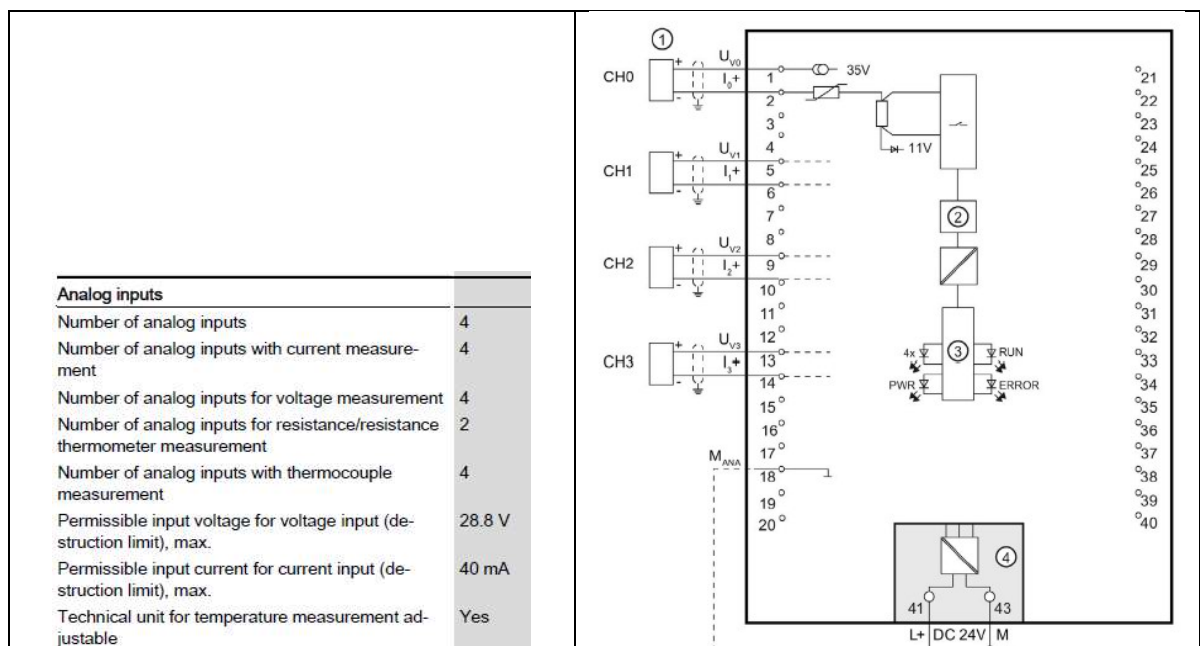


Рис. 5.14 Технічні характеристики та схема підключень

датчиків сили струму до входів 6ES7 531-7QD00-0AB0

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

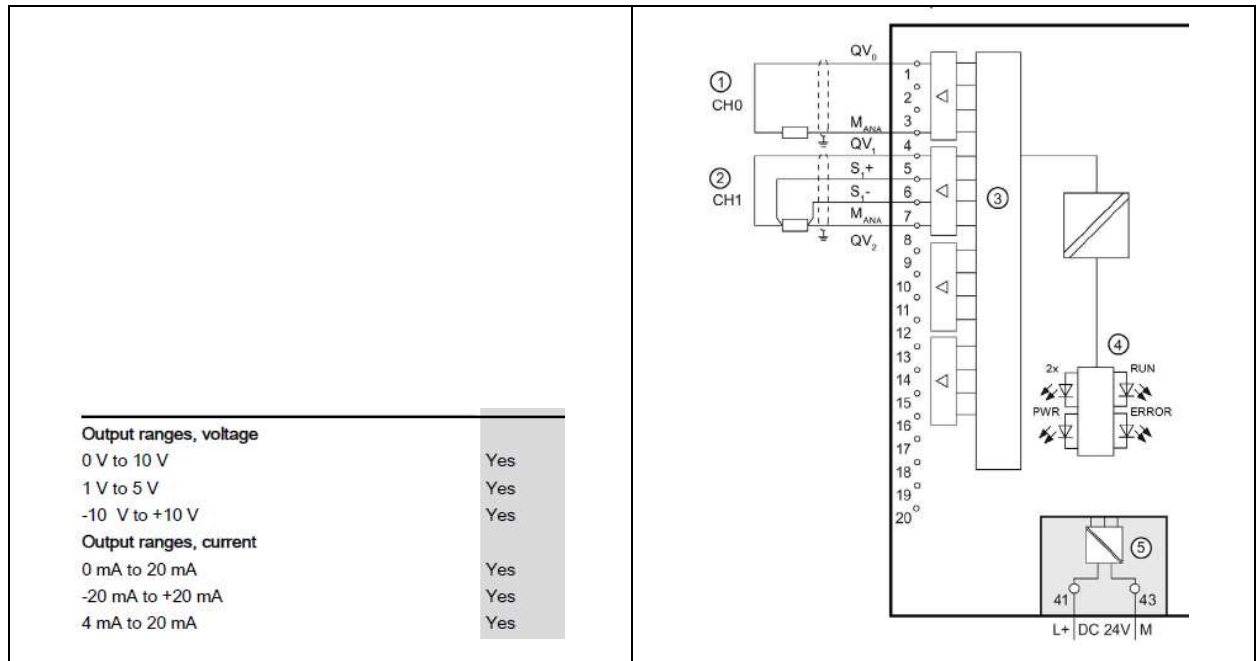


Рис. 5.15 Технічні характеристики та схема формування уніфікованої напруги на виходах 6ES7 532-5NB00-0AB0

Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів для керування процесом копчення риби. 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.

РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ САК

6.1 Програмне конфігурування контролера

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

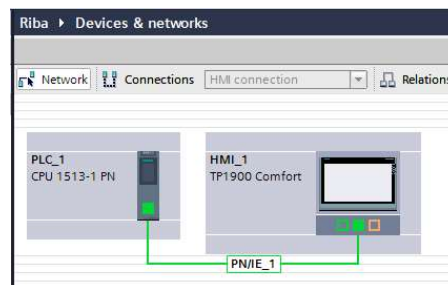


Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проекту

Виконуємо конфігурування обраного контролера і модулів ПЗО. Для цього необхідні модулі вводу/виводу перетягуємо в поле редагування з бібліотеки, присвоюємо імена фізичним входам і виходам (рис. 6.2). Визначаємо у властивостях модулів вид сигналів та діапазони їх зміни (рис. 6.3).

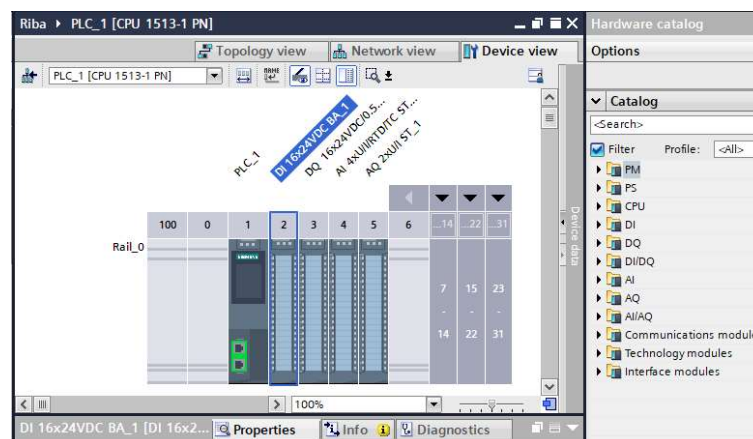


Рис. 6.2 Конфігурування контролера і модулів ПЗО

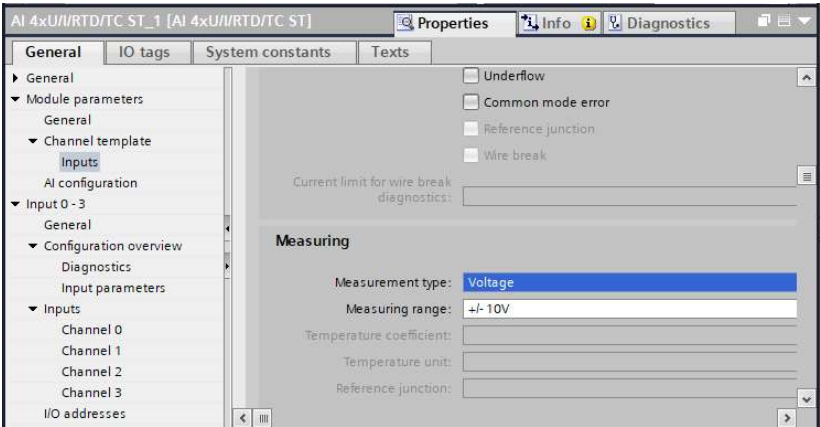


Рис. 6.3 Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни

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

Default tag table			
	Name	Data type	Address
16	bCloseGK0	Bool	%I0.1
17	bOpenGK1	Bool	%I0.2
18	bCloseGK1	Bool	%I0.3
19	bOpenGK2	Bool	%I0.4
20	bCloseGK2	Bool	%I0.5
21	bOpenGK3	Bool	%I0.6
22	bCloseGK3	Bool	%I0.7
23	bForwardVent1	Bool	%I1.0
24	bForwardVent2	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	bOnGK0	Bool	%Q0.0
32	bOnGK1	Bool	%Q0.1
33	bOnGK2	Bool	%Q0.2
34	bOnGK3	Bool	%Q0.3
35	bOnVent1	Bool	%Q0.4
36	bOnVent2	Bool	%Q0.5

Рис. 6.4 Приклад вікна таблиці тегів

6.2 Розробка програмного забезпечення

За допомогою миші перетягуємо з бібліотеки SOL в наш проєкт теги та необхідні функціональні блоки.

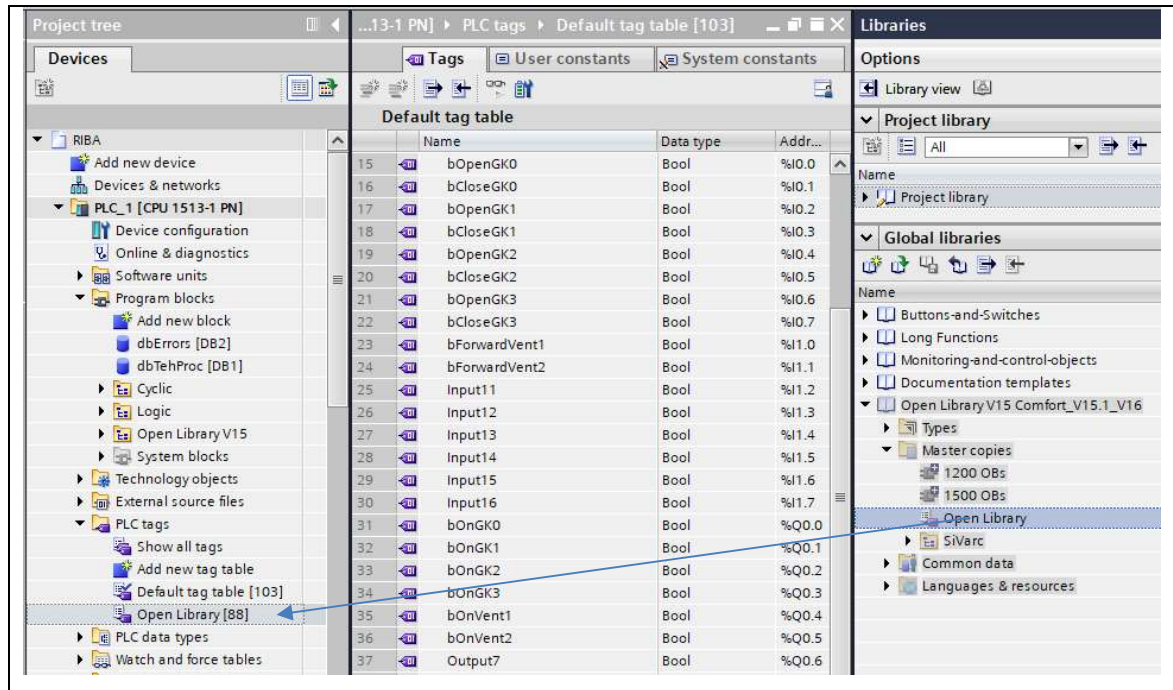


Рис. 6.5 Приклад додавання бібліотечних тегів та функціональних блоків

FB Motor, FB Valve_Analog, FB Valve_Solenoid

Використовуючи бібліотечні типи даних, створюємо два глобальних блоки даних

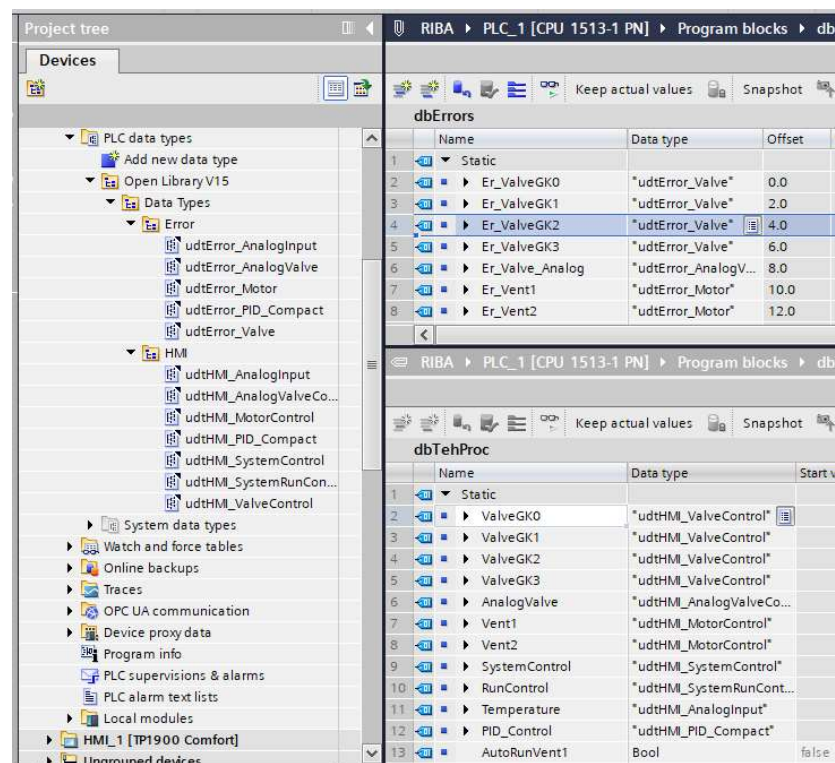


Рис. 6.6 Створення глобальних dbTehProc, dbErrors

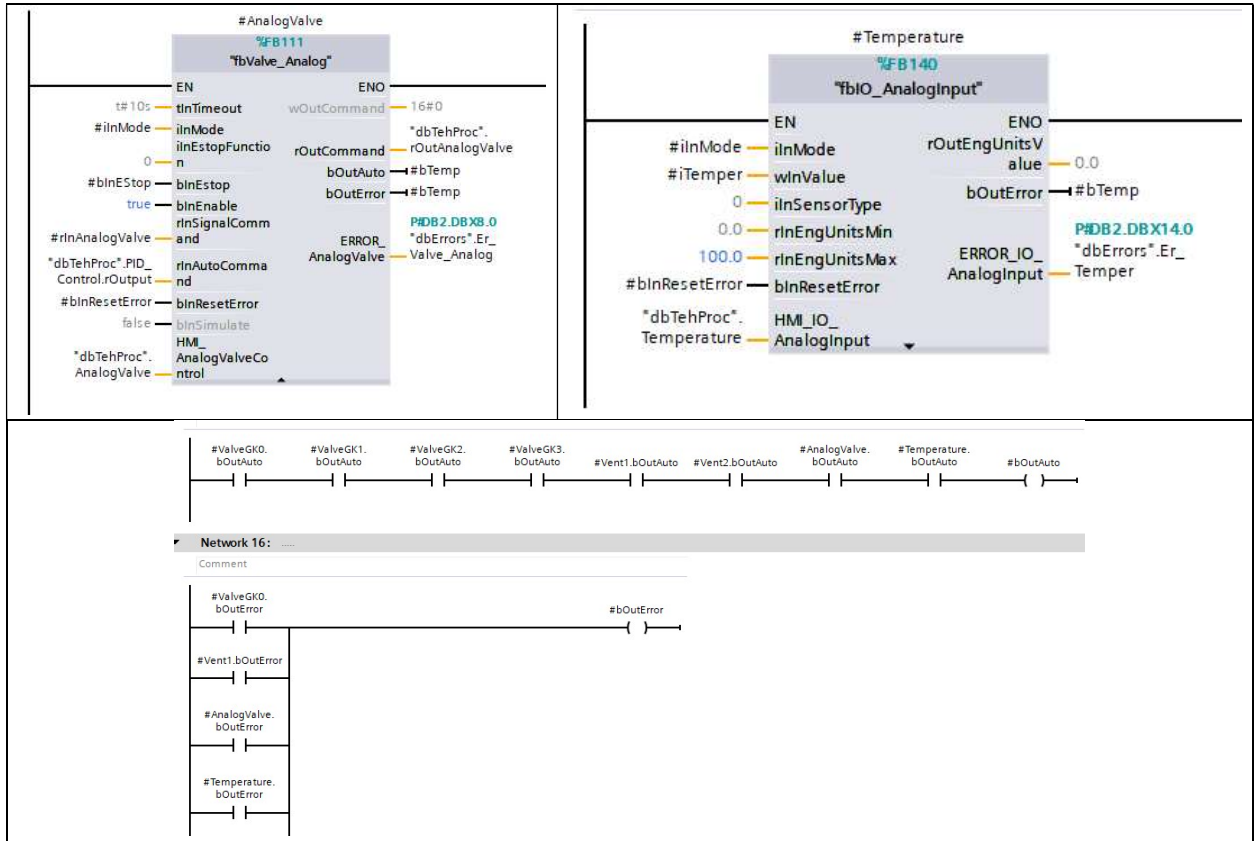


Рис. 6.8 Фрагменти підпрограми fbProc

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

AutoRun			
	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	■ bKopch	Bool	false
12	■ bPros	Bool	false
13	■ bVarka	Bool	false
14	■ bOstanov	Bool	false
15	■ bVent1	Bool	false
16	■ bVent2	Bool	false
17	■ bValveGK0	Bool	false
18	■ bValveGK1	Bool	false
19	■ bValveGK2	Bool	false
20	■ bValveGK3	Bool	false
21	■ ▶ Timer1	IEC_TIMER	
22	■ ▶ Timer2	IEC_TIMER	
23	■ ▶ Timer3	IEC_TIMER	
24	■ ▶ Timer4	IEC_TIMER	

Рис. 6.9 Интерфейс fbAutoRun

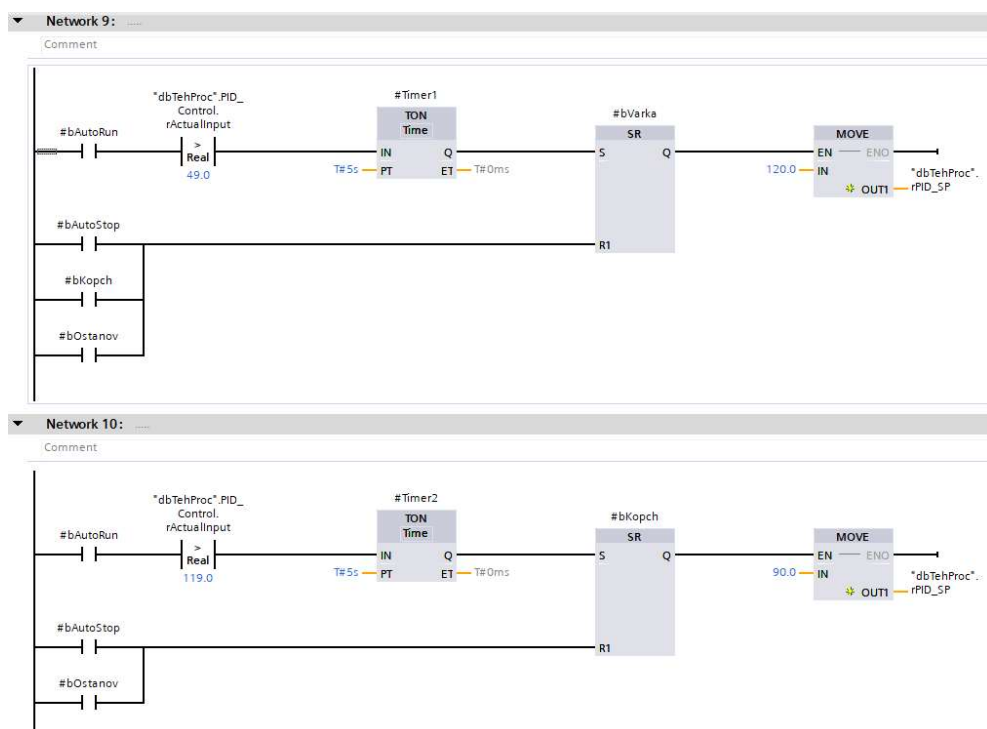


Рис. 6.10 Фрагмент програми fbAutoRun

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



Рис. 6.11 Інтерфейс 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_PT1), що формують модель ОК, і типових регуляторів fbPID_Compact.

fbSAR			
	Name	Data type	Default value
1	Input		
2	<Add new>		
3	Output		
4	<Add new>		
5	InOut		
6	<Add new>		
7	Static		
8	PID_reg	"fbPID_Compact"	
9	Zap	"LSim_Lagging"	
10	ApZveno	"LSim_PT1"	
11	ApZveno_1	"LSim_PT1"	
12	uDelayCycles	UInt	14
13	Temp		
14	bTemp	Bool	
15	iTemp	Int	
16	diTemp	DInt	
17	dwTemp	DWord	
18	rTemp	Real	
19	Constant		

Рис. 6.12 Інтерфейс fbSAR

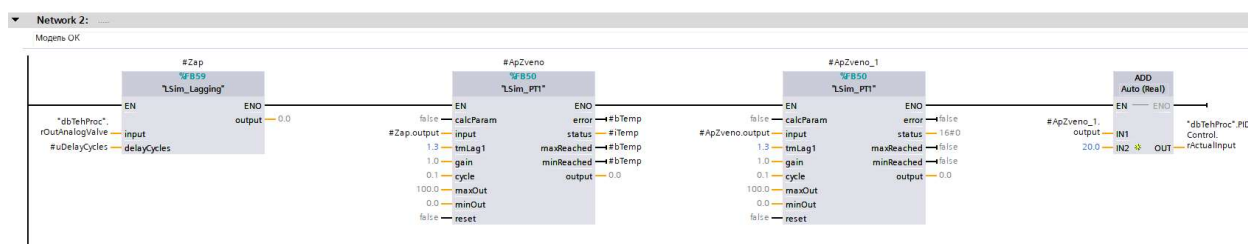


Рис. 6.13 Фрагмент моделі ОК – канал керування по температурі повітря в коптильні

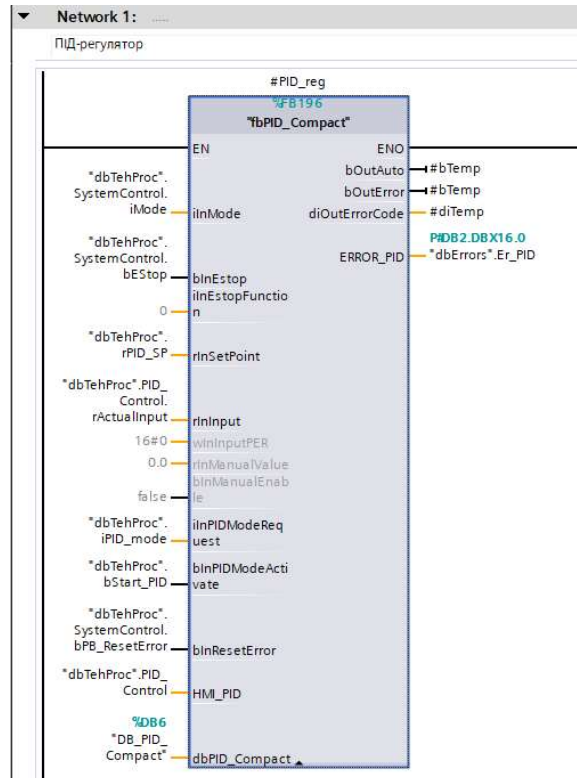


Рис. 6.14 – Фрагмент програми, що реалізує ПД-регулятор

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

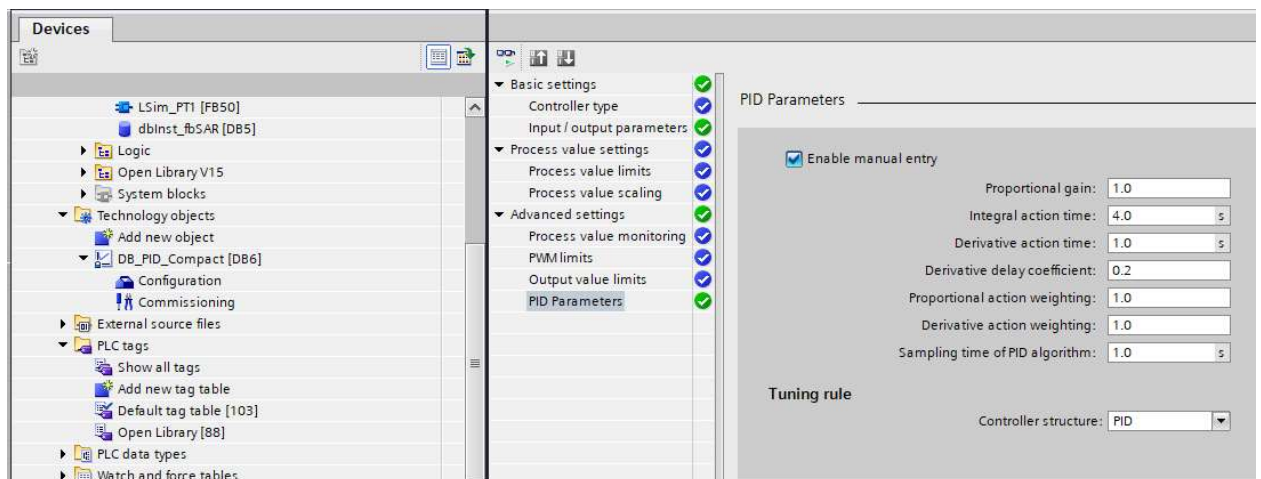


Рис. 6.15 Приклад налаштування параметрів ПД-регулятора

Тестування проекту проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM, в яку завантажуються 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.

РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК

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

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

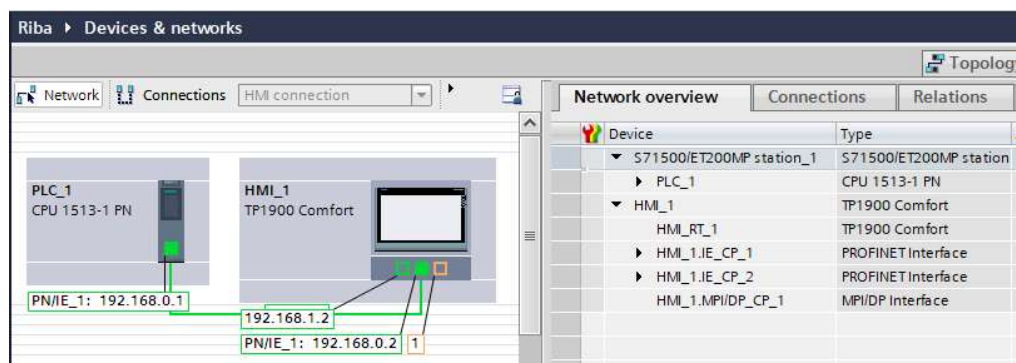


Рис. 7.1 Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

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

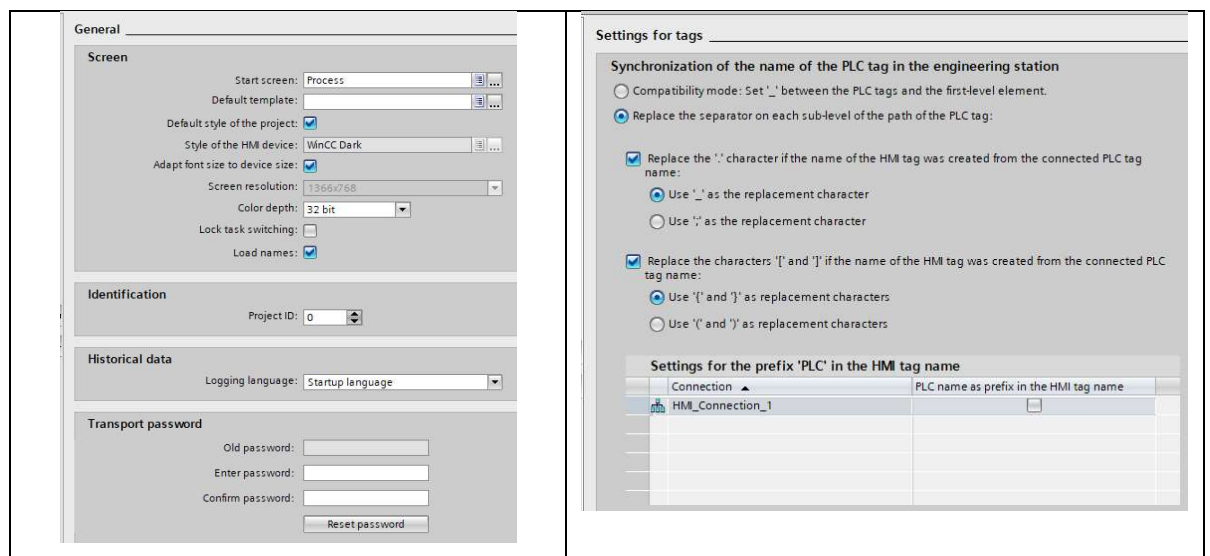


Рис. 7.2 Конфігурування TP 1900 Comfort

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.

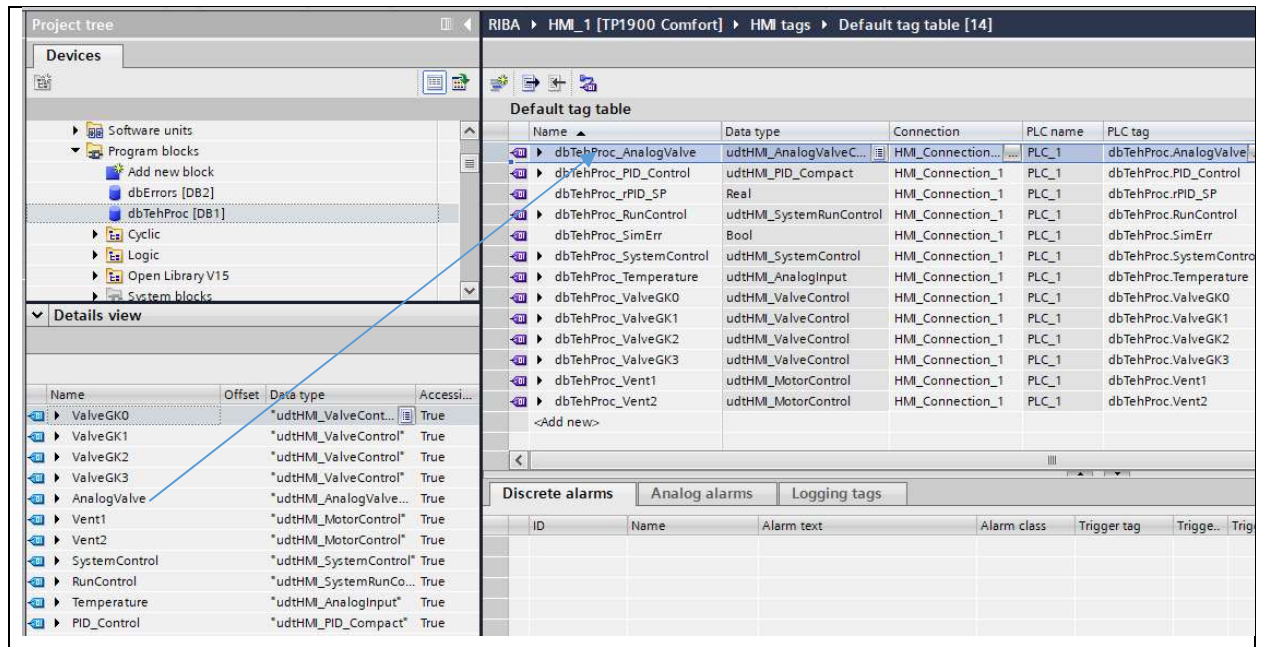


Рис. 7.3 Приклад створення таблиці HMI-тегів

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.

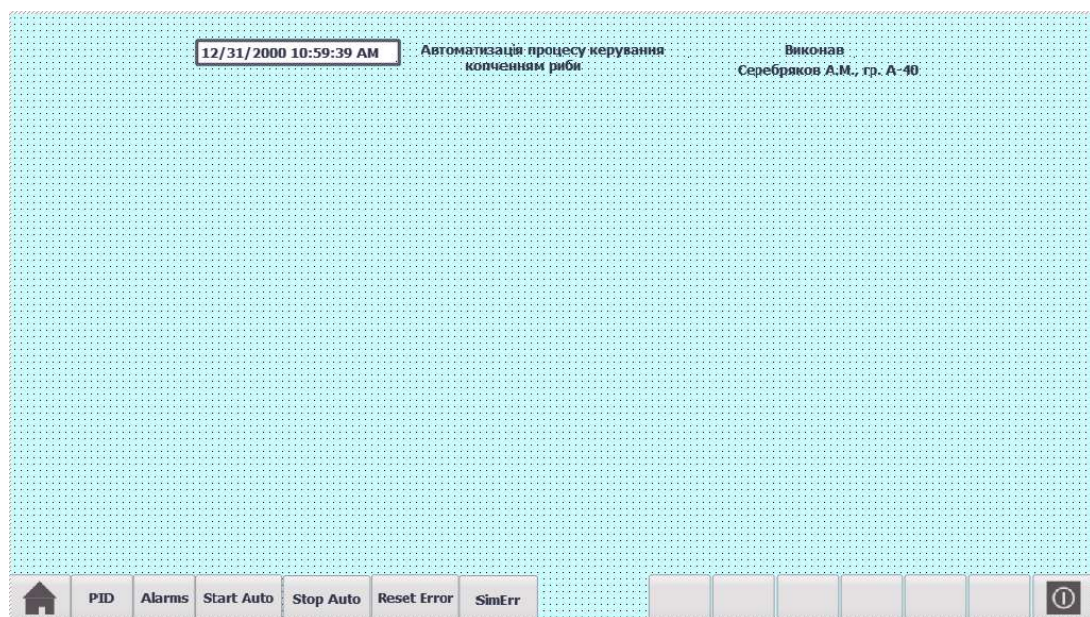


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів

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.

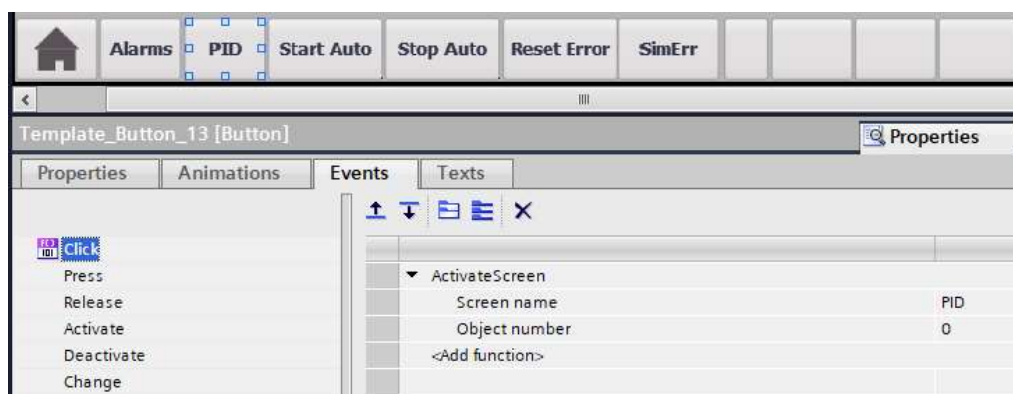


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

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).

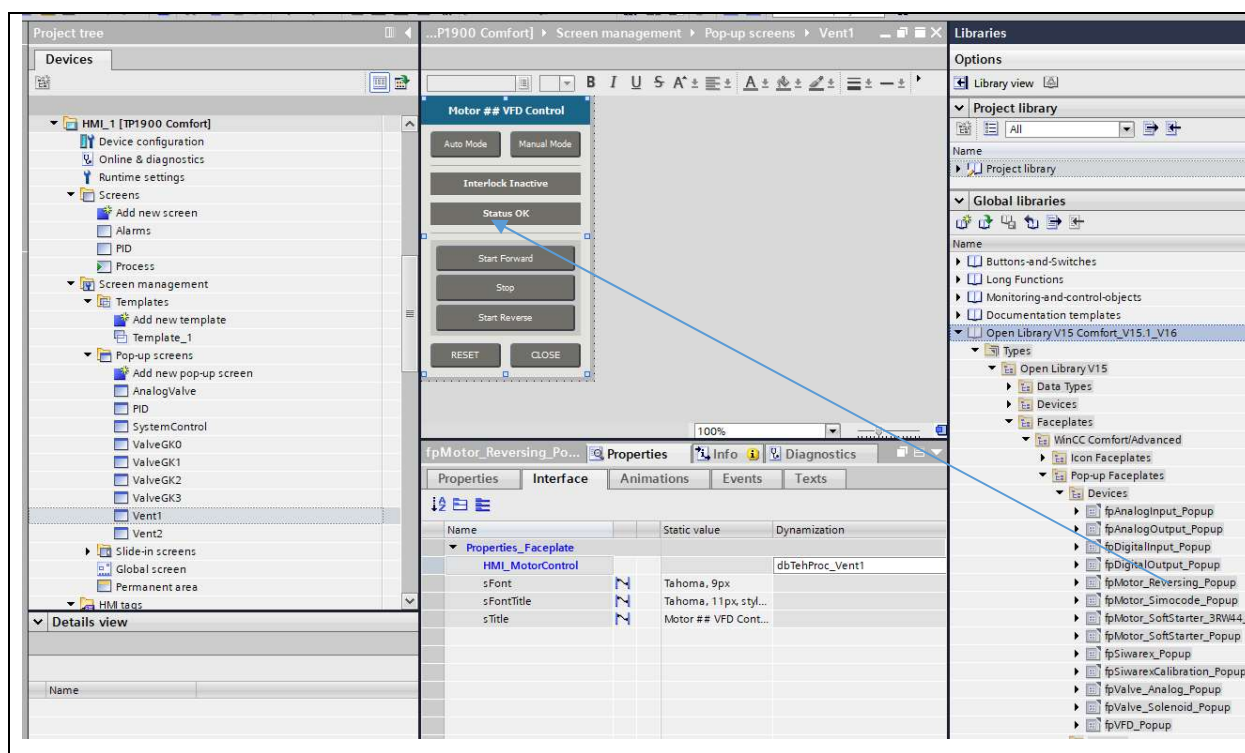


Рис. 7.6 Приклад створення спливаючих вікон для керування електроприводом

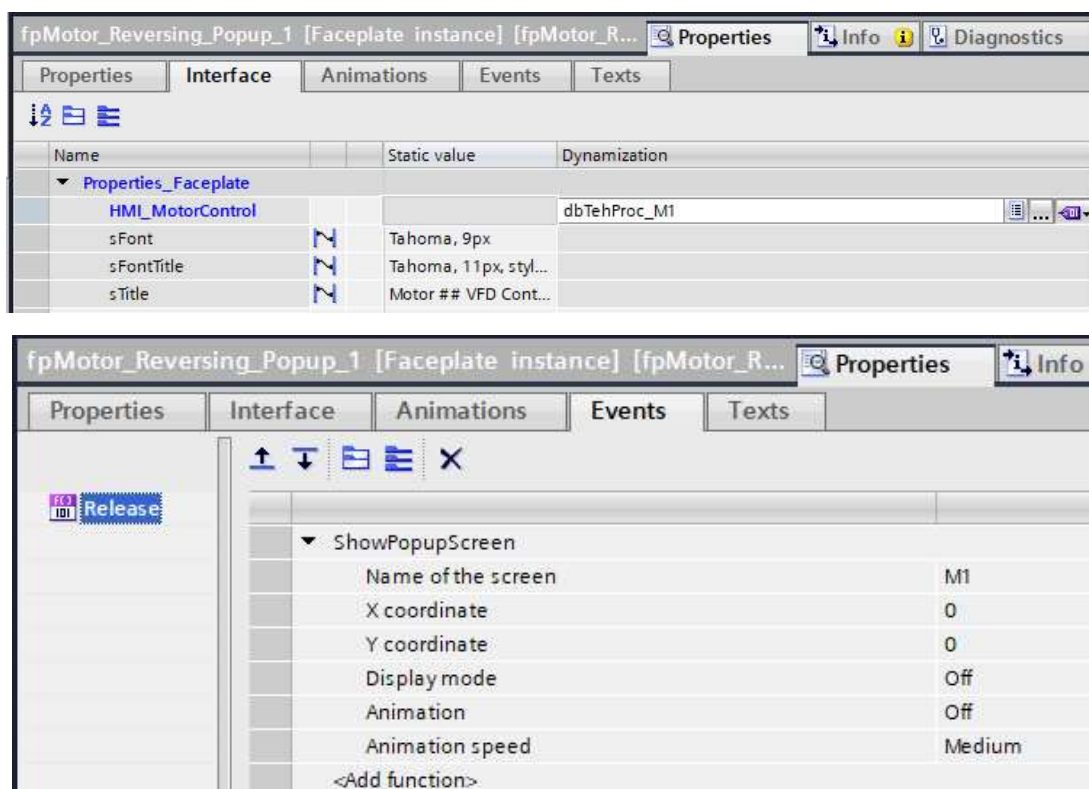


Рис. 7.7 Приклад визначення параметрів вспливаючого вікна

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.

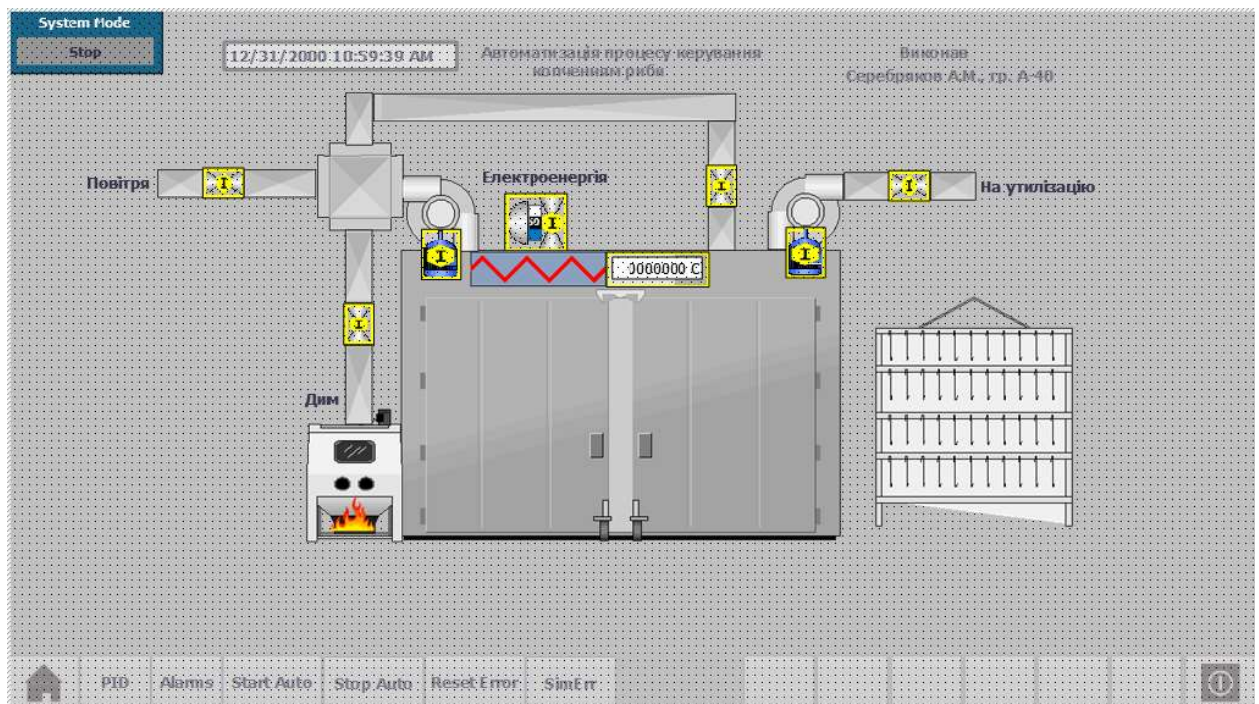


Рис. 7.8 Екран схеми установки Process

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).

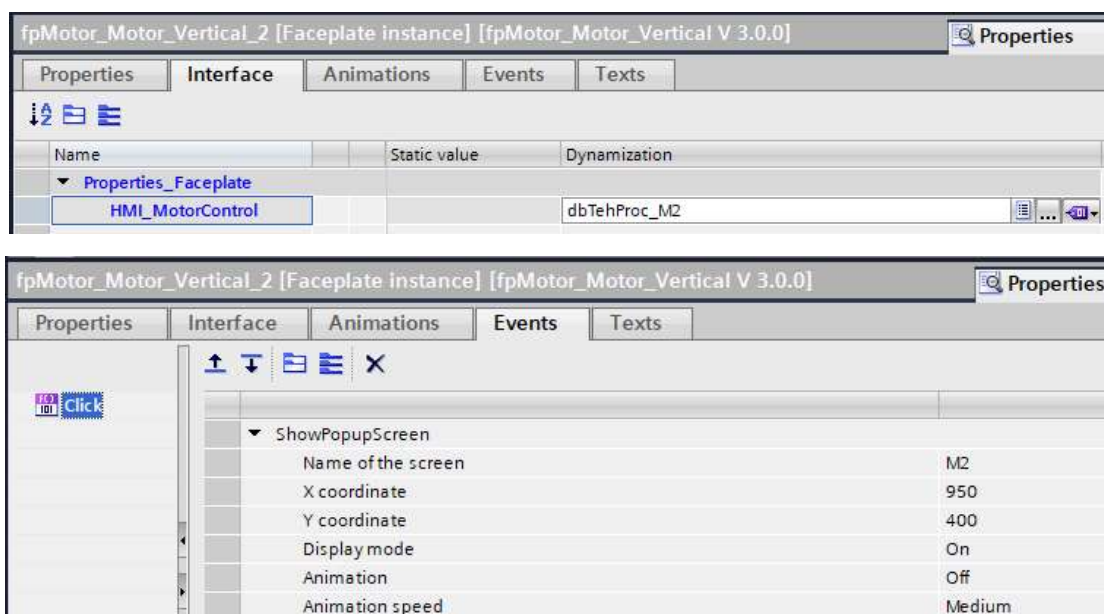


Рис. 7.9 Приклад налаштування піктограми електроприводу

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

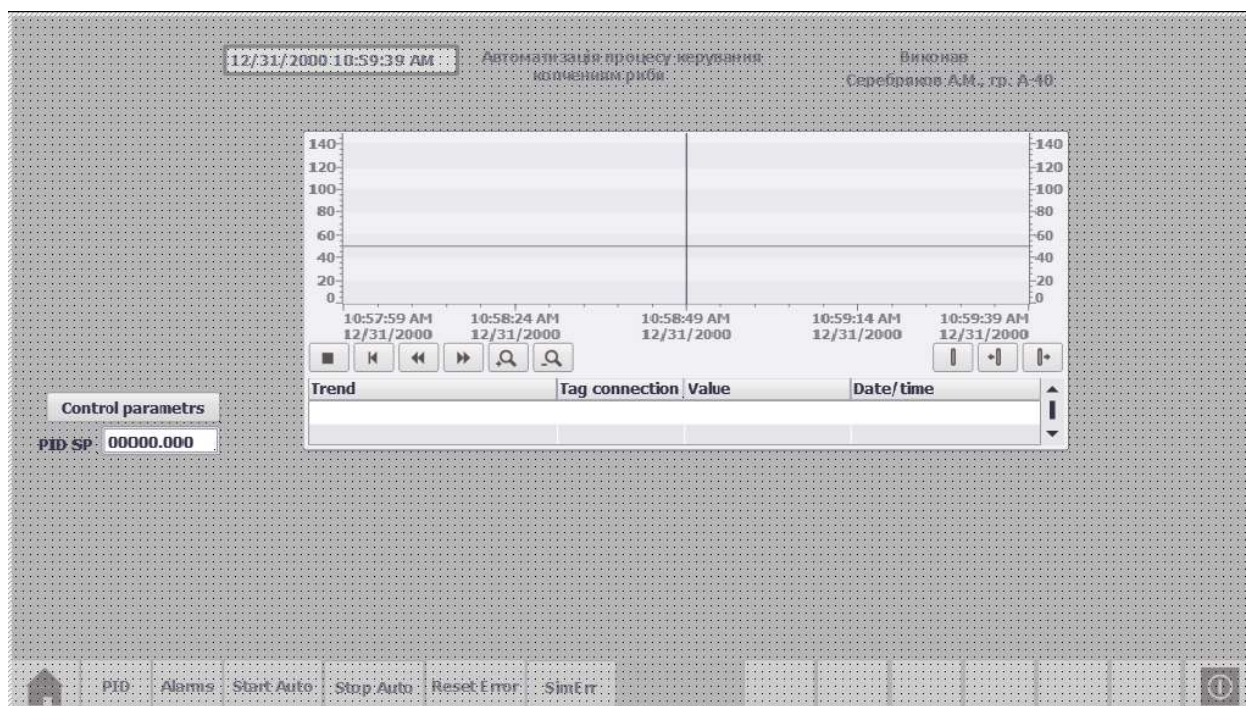


Рис. 7.10 Екран графіків

Для побудови графіків зміни температури димо-повітряної суміші в копильні використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.11.

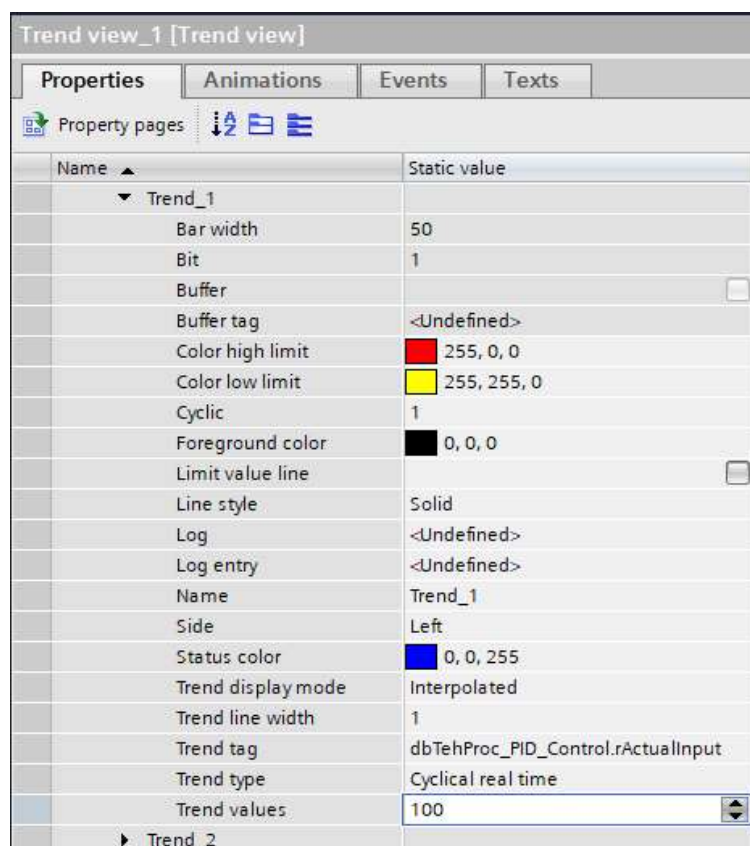


Рис. 7.11 Вікно налаштування елементу Trend

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.

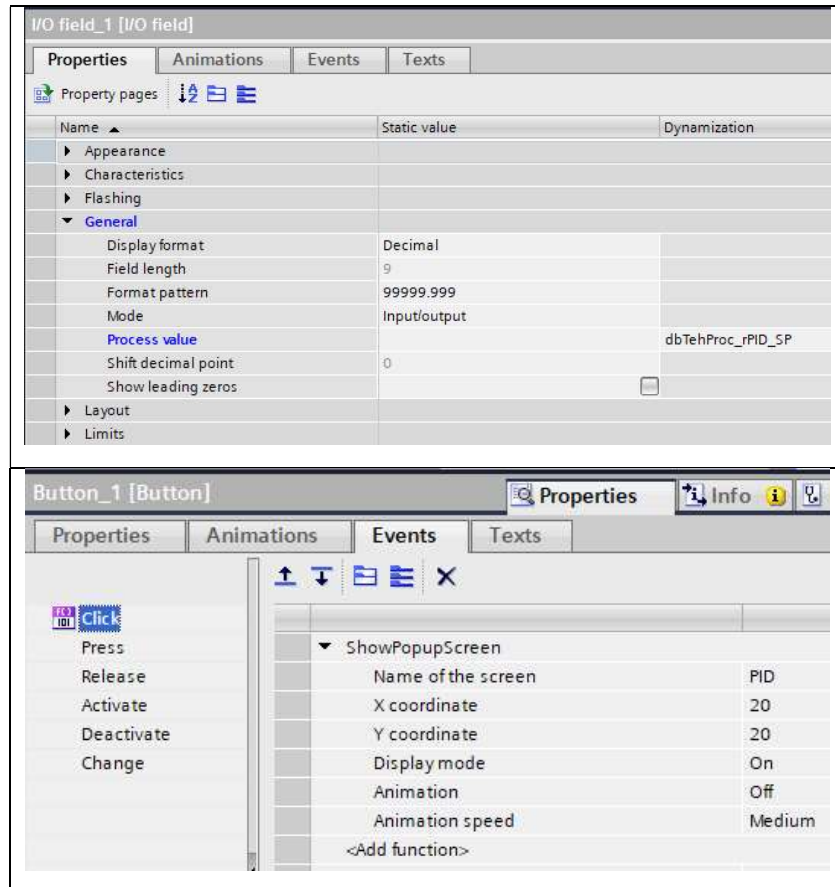


Рис. 7.12 Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

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).

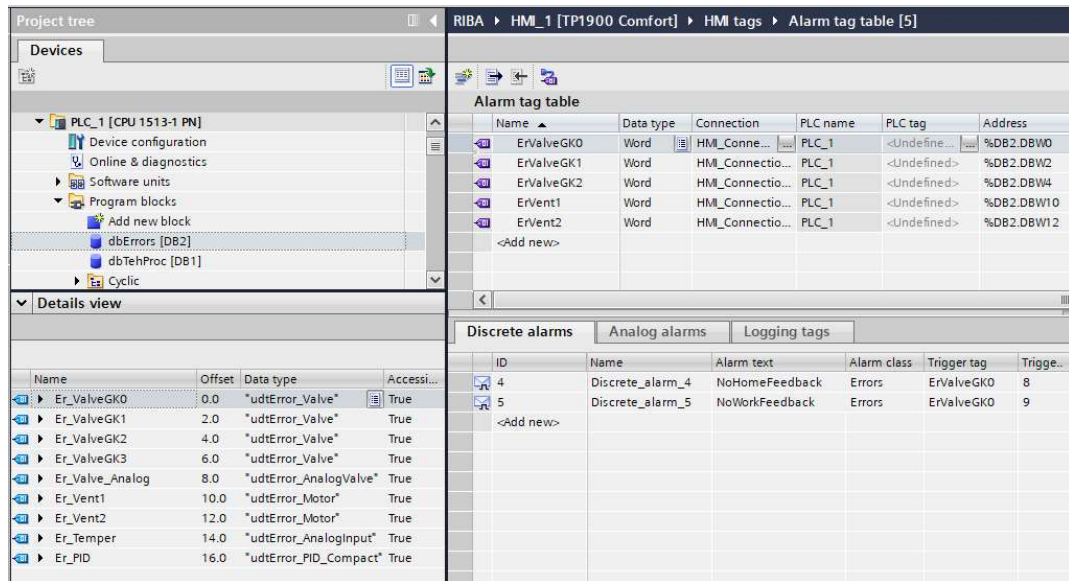


Рис. 7.13 Приклад прив'язки тегів dbErrors з HMI-тегами

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.

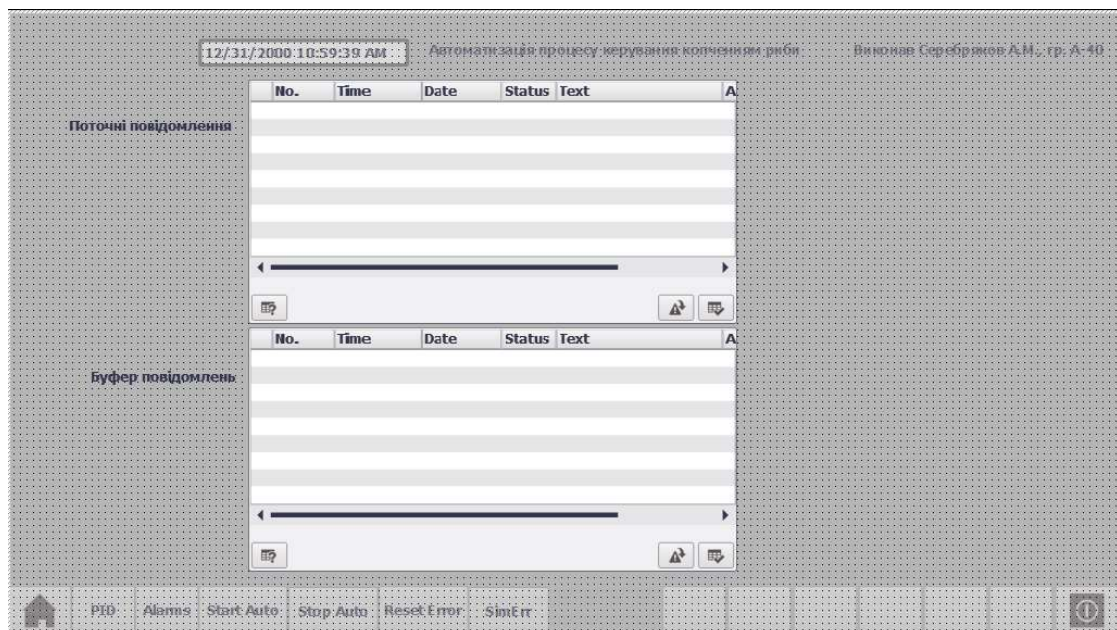


Рис. 7.14 Екран Alarms повідомлень про несправності

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.

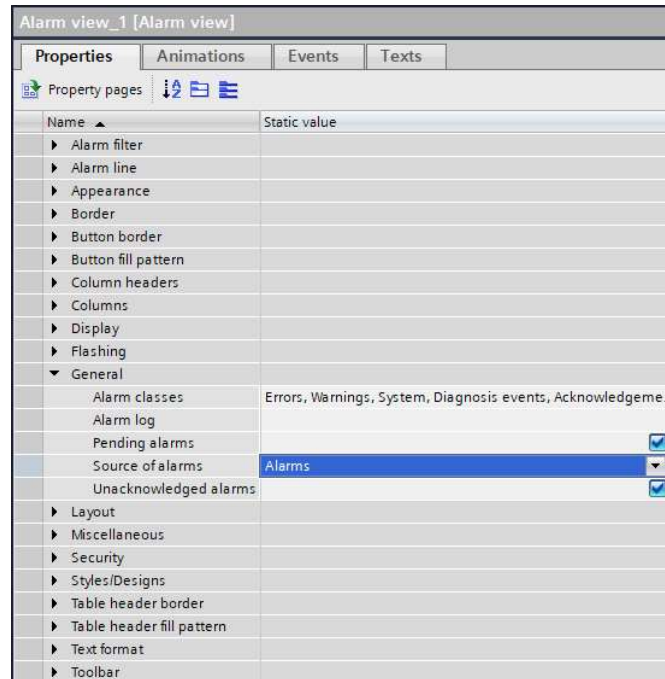


Рис. 7.15 Налаштування властивостей елемента Alarm View

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 середовищі якої завантажуюємо частину проекту PLC_1 після його компіляції.

Відображення екранів виконується в режимі симуляції в середовищі WinCC Runtime Advanced, куди після компіляції завантажуюємо 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

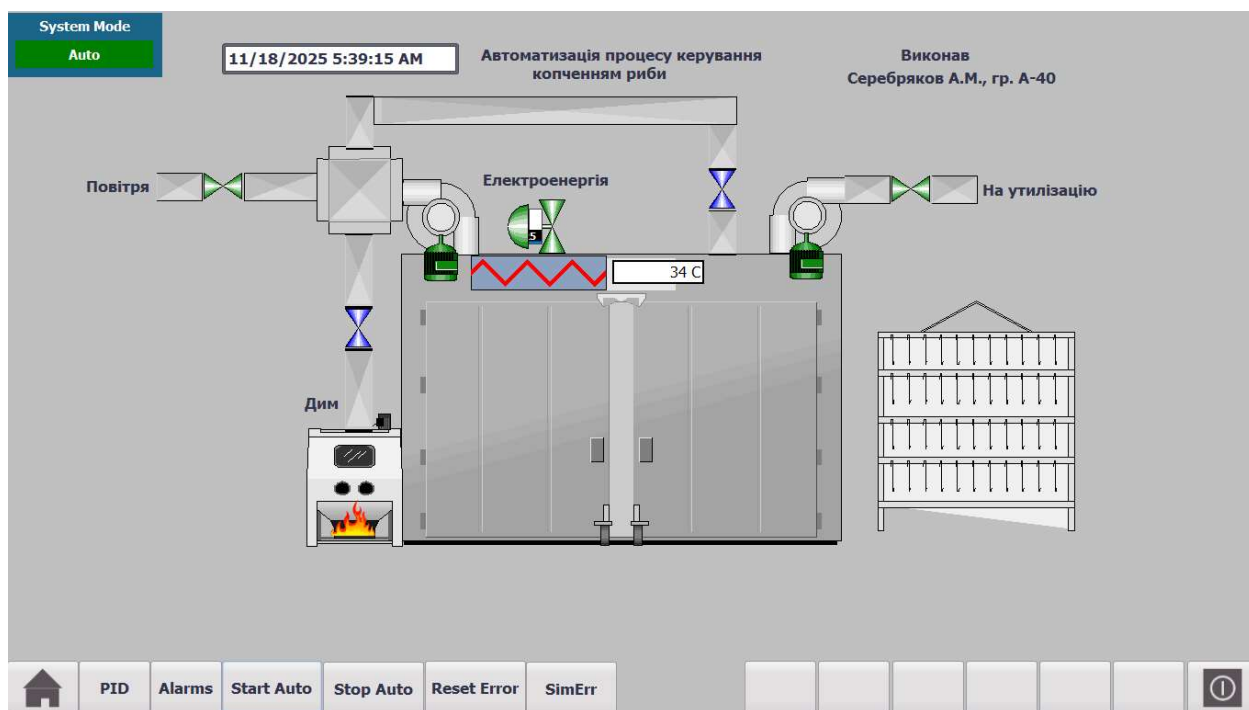


Рис. 7.17 Схема установки в автоматичному режимі

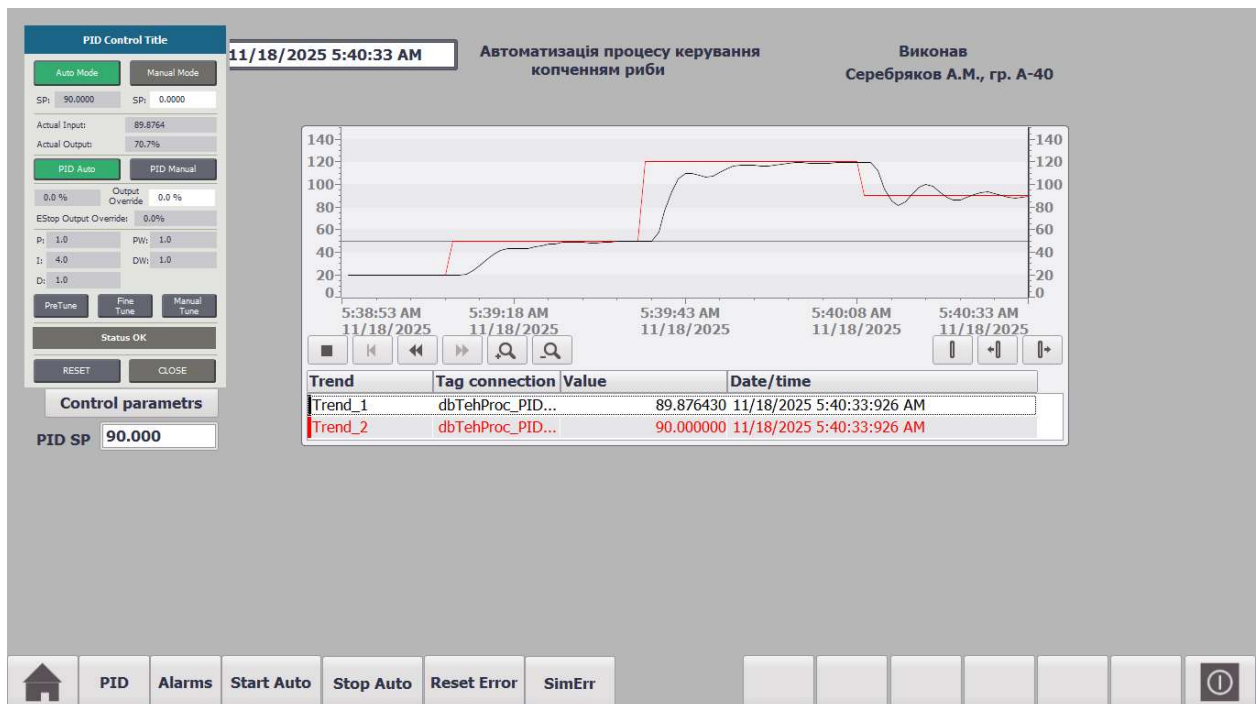
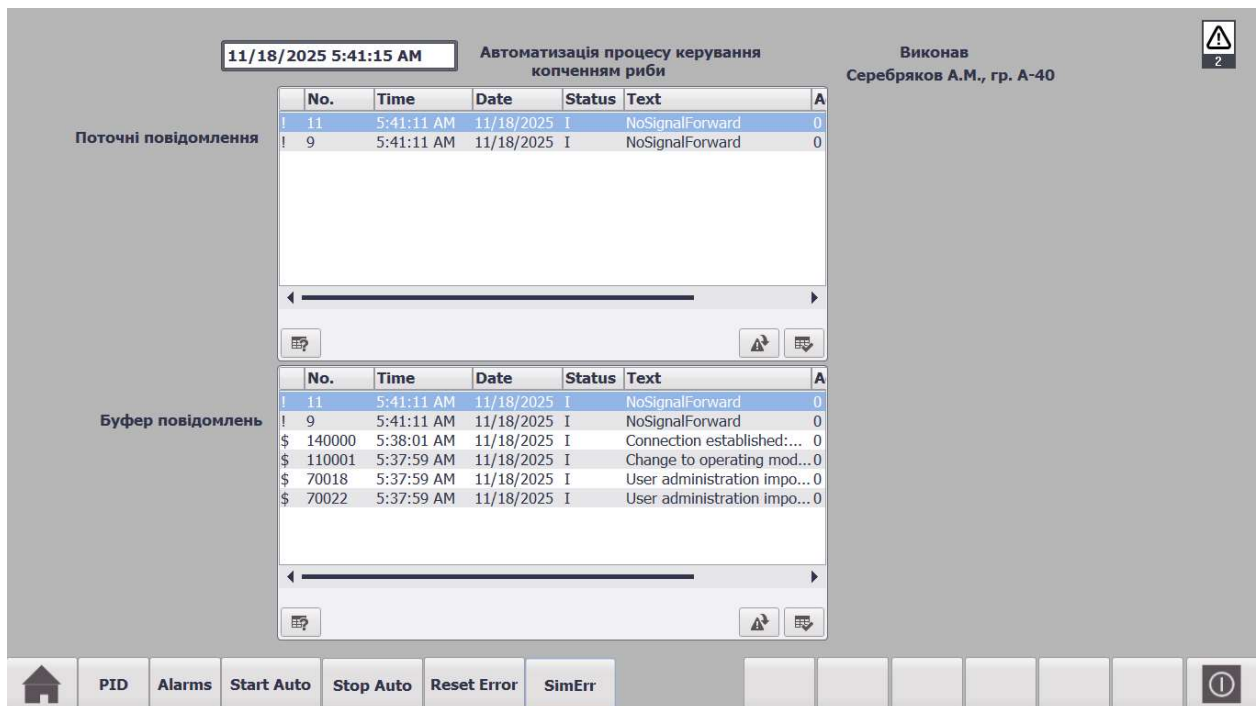


Рис. 7.18 Екран PID в тестовому режимі

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.

РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

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

Основна вимога до ефективного процесу копчення риби полягає в підтримці температури димоповтряної суміші в коптильні та зміні її в різних режимах.

Всі технічні засоби розміщені:

- датчики та виконавчі механізми безпосередньо на об'єкті керування (ОВ);
- засоби керування електроприводами в силовій шафі (SS);
- модулі ПЛК і панель оператора в шафі автоматики (SA).

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 електроприводу;
- 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.

Елементи керування та живлення електроприводів встановлюються в силовій шафі на DIN-рейку 35 мм. Шафа оператора знаходиться у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площі шафи автоматики 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.

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 оператора. 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 – 4 керування та контроль стану повітряними засувками TV1-TV4;
- 5 – 6 – керування та контроль стану ЕД M1, M2;
- 7 - 8 – контроль і регулювання температури димоповітряної суміші в копильні;
- 9 - контроль критичної температури димоповітряної суміші в копильні.

У контурах 1 - 6 керування приводами 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 7, 8 реалізована система контролю та регулювання температури димоповітряної суміші в копильні. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем TY/7 пропорційний температурі сигнал струму 4...20 mA DC подається на регулятор TC/7, який формує керуючий вплив у вигляді 0...10 V DC, що подається на БУСТ2 JY/7. Регулятор програмно реалізований в ПЛК. В контурі передбачена функції ручного задатчика і індикації регульованої змінної HIC/7, які реалізовані в панелі оператора.

В контурі 9 сигнал від датчика-реле температури димоповітряної суміші в коптильні TS/8 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК і дозволяє сформувати функції індикації, сигналізації та аларму TISA цієї температури.

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

8.3. Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом

Всі компоненти схеми розміщуються в силовій шафі SS. Дана ПЕС забезпечує місцеве і дистанційне керування. Живлення електропривода M1 здійснюється від мережі типу TN через автомат захисту електродигуна Q1, клеми контактора KM1, кабель W2 та вимикач OB-Q1.

Місьцеве керування електроживленням котушки контактора KM1 здійснюється від фази L1 завдяки використанню автоматичного вимикача Q2, кнопки Стоп S2 та кнопки Пуск S4. Перемикання в дистанційний режим здійснює перемикач S3. Керуючий сигнал від модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) контролера формує проміжне реле K2, яке своїм контактом здійснює електроживлення котушки KM1.

Стани KM1, S3, K1 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 принципів електричних схем підключення до модулів ПЛК

До дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) по кабелях W 4, 5, 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 кабелю W1, що підключається до клем SA-X1, передається сигнал від датчиків-реле температури TS/9.

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 електроприводами M1, M2. Також до виходу модуля дискретних виходів по кабелям W3, 9, 15, 16, 17 що підключаються до клем SA-X1, підключаються проміжні реле TV1... TV4, для керування відповідними повітряними засувками.

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 екранованих кабелів W10, 11, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики температури димоповітряної суміші з уніфікованим виходом 4...20 mA DC TV7, TV8.

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 БУСТ2 JY/7.

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

8.6 Охорона праці

Безпечне функціонування автоматизованої установки вимагає системного контролю за станом виробничого середовища. У таблиці 8.1 систематизовано основні чинники ризику, їх нормативні межі та вплив на здоров'я персоналу.

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 місті	80 дБА	Захворювання органів слуху

6.	Підвищений рівень вібрації на робочому місці	0,028 м/с x 10 ⁻² /75дБ (загальна вібрація); 2 м/с x 10 ⁻² /112 дБ (локальна вібрація)	Захворювання нервової системи
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

АРМ оператора організовано для виконання функцій контролю за роботою установки в автоматизованому режимі. Всі прилади на панелі мають інтуїтивну колірну індикацію станів. Санітарні умови приміщення АРМ повністю відповідають нормам: площа на одне місце — 10,0 м², об'єм — 25,0 м³. Технологічні операції виконуються виключно на обладнаному місці, що включає ергономічне крісло та якісне освітлення. Робота класифікується як легка (категорія 1а) за рахунок положення сидячи. Гігієнічні параметри повітряного середовища для операторського пункту наведено в 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

Зорові завдання оператора (розряди Б-2, А-2) вимагають дотримання норм освітленості (Таблиця 8.3). Світловий комфорт забезпечується боковим розташуванням вікон та комбінованим світлом.

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 обладнання з несправними захистами суворо заборонена. Процес пуску та зупинки має контролюватися за показаннями приладів. Електробезпека забезпечується заземленням корпусів, використанням інструменту з ізолюючими рукоятками та діелектричних засобів захисту. Сила струму 0,1 А є смертельною, тому всі роботи проводяться при знятій напрузі. Протипожежні заходи включають регулярні інструктажі, наявність схем пожежного водопроводу та автоматичного пожежогасіння на критичних 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 копчення риби. 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. Коптильня як об'єкт керування має статичні 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.

2. 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 при дії на об'єкт керування неконтрольованих збурень. Властивості об'єкта необхідно знати тільки по каналу керування.

Зважаючи на властивості об'єкту керування, був зроблений висновок про доцільність розгляду структурних схем САР тільки з ПІ - і ПІД-регуляторами, причому під час моделювання САР з ПІД-регулятором показала 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. Відповідно, така структура САР може бути рекомендована до впровадження.

3. Для технологічного процесу копчення риби були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки системи логічного керування (СЛК) електроприводами коптельні. Для дослідження СЛК коптельні 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.

4. Був проведений вибір технічних засобів для керування процесом копчення риби. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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 копчення риби. 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 ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко С. М. Виробництво та обробка рибних продуктів. Київ: Техніка, 2017. 280 с.
2. Братченко Н. О. Технологія харчових продуктів: копчена риба та її обробка. Одеса: Хімія, 2017. 200 с.
3. Бронштейн О. І. Копчення риби та м'ясних продуктів. Харків: Літера, 2015. 290 с.
4. Василенко А. П. Технологія переробки риби. Київ: Техніка, 2013. 275с.
5. Конспект лекцій з курсу дисципліни "Теорія автоматичного керування" (частина І) - Хобін В.А. ОНАХТ. Одеса - 2012 р.
6. Конспект лекцій з курсу дисципліни "Теорія автоматичного керування" (частина ІІ) - Хобін В.А. ОНАХТ. Одеса - 2012 р.
7. Хобін В.А., Світий І.М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання комплексної курсової роботи. Одеська національна академія харчових технологій, 2020. – 277 с.
8. Савицький, Володимир Костянтинович. 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.
9. Левінський, Валерій Михайлович. 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. 150 с.
10. Павловський, Сергій Миколайович. Основи автоматизованого проектування : лабораторні роботи в середовищі AutoCAD [Текст] : навч. посіб. / С. М. Павловський, А. В. Бабков. — Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. — 598 с. : табл., рис. ISBN 978-966-289-453-0

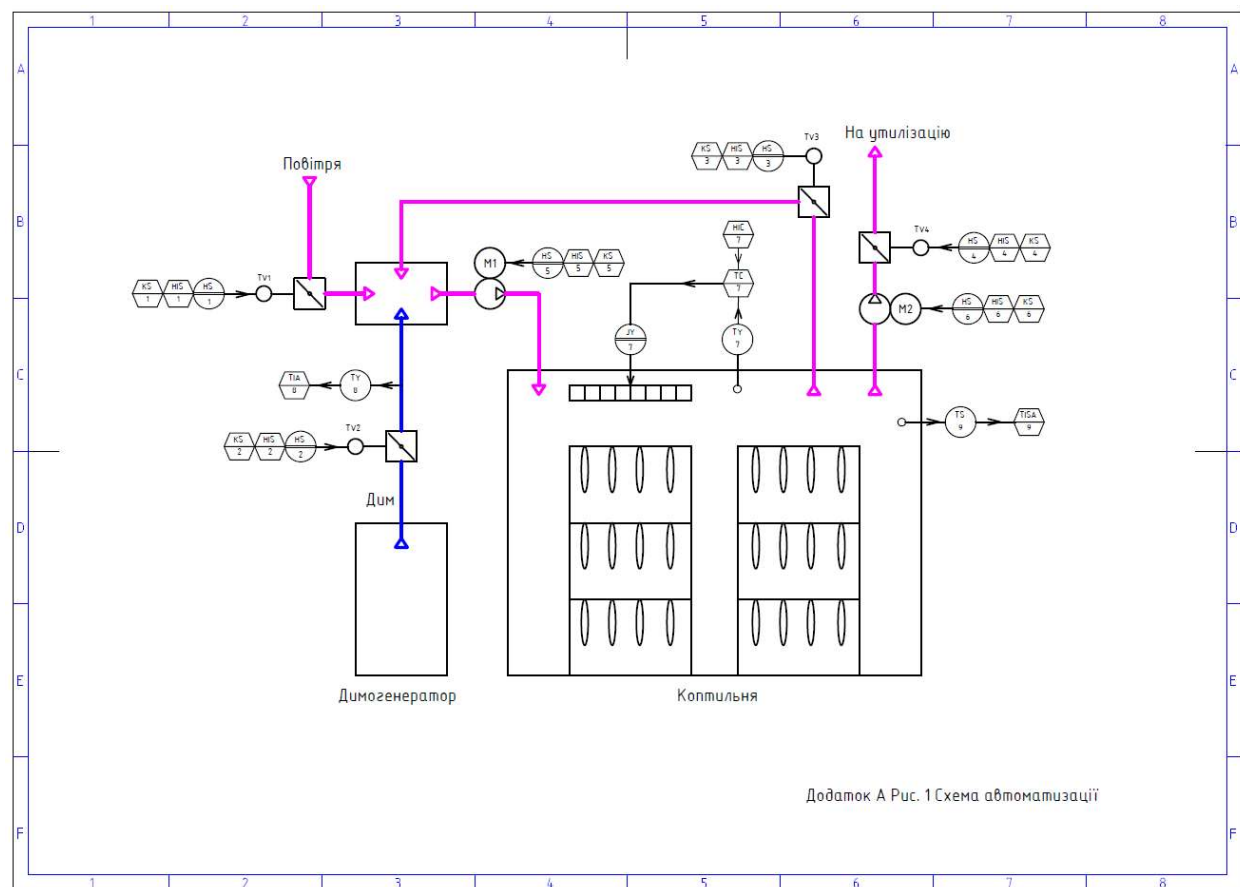
11. Проектування мікропроцесорних систем керування [Електронний ресурс] : навч. посіб. / І. Р. Козбур, П. О. Марущак, В. Р. Медвідь та ін. ; Тернопіл. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. — Тернопіль, 2022. — 324 с. ISBN 978-966-305-120-8

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...	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	6	
HS/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	

