

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет

Кафедра Автоматизації технологічних, електромеханічних і робототехнічних систем



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
на тему: «Автоматизація процесу керування темперуванням шоколадної маси»

Здобувача Косівця В.Р.

4 курсу, групи АЗ-40

Керівник: доц. Світий І.М.

Консультант: доц. Левінський В.М.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 20____ р., протокол № _____.
Завідувач(ка) кафедри АТЕІРС _____ Олексій ЖИГАЙЛО
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС

І.М. Світій

«5» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач **Косівець Володимир Романович**

1. Тема роботи «**Автоматизація процесу керування темперуванням шоколадної маси**»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Світій Іван Миколайович, 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: комплексне кваліфікаційне завдання.
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	Світий І.М., зав. каф. АТП і РС		
Розділи 2, 3	Світий І.М., зав. каф. АТП і РС		
Розділ 4	Світий І.М., зав. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		

7. Дата видачі завдання « 18 » березня 2025 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 Косівець В.Р.

Керівник роботи Світий І.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 Косівець В.Р.

Прізвище, ініціали

Підпис

Реферат

Кваліфікаційна робота бакалавра Косівця Володимира Романовича «Автоматизація процесу керування темперуванням шоколадної маси» викладена на 150 сторінках, кількість таблиць 17, рисунків – 104, додатків – 2, джерел з переліку посилань – 18.

В даній кваліфікаційній роботі розглянуто питання модернізації системи автоматичного керування (САК) технологічного процесу темперування шоколадної маси. В якості об'єкта дослідження було обрано процес темперування шоколадної маси в темперуючій машині неперервної дії. Основною метою роботи є підвищення ефективності роботи установки за рахунок зменшення втрат від браку продукції.

При виконанні роботи було проведено підвищення якості регулювання параметрів процесу за рахунок побудови системи автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності. Для вирішення задачі регулювання було отримано математичну модель процесу. Задачу логічного керування було вирішено за рахунок розробки алгоритму автоматичного керування пуском та зупинкою машини. Програмно-технічну реалізацію процесу проведено на базі контролерно-комп'ютерної мережі, основу якої складає програмований логічний контролер Siemens S7-1200 і середовище програмування TIA Portal. Розроблено фрагмент проектної документації на модернізовану систему керування. Опрацьовано питання охорони праці при експлуатації системи. Оцінено економічну доцільність впровадження запропонованих рішень з автоматизації.

Ключові слова: темперування шоколадної маси, темперуюча машина, система автоматичного керування, контролерно-комп'ютерна мережа, SCADA.

Зміст

Перелік умовних позначень.....	9
Вступ.....	10
1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.....	11
1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів.....	11
1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього.....	23
1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК.....	26
1.4 Висновки за розділом.....	27
2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.....	29
2.1 Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання.....	29
2.2 Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта регулювання.....	31
2.3 Реалізація математичних моделей у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту-оригіналу.....	44

2.4 Висновки за розділом.....	52
3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.....	53
3.1 Формулювання задач керування, вимог до їх розв'язку і вибір основних принципів побудови автоматичних систем.....	53
3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	57
3.3 Синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності.....	68
3.4 Порівняльний аналіз перехідних процесів у параметрично оптимальних САР базової структури та підвищеної динамічної точності.....	74
3.5 Висновки за розділом.....	76
4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.....	79
4.1 Розробка алгоритмів автоматичного управління нормальним пуском та зупинкою установки.....	79
4.2 Розробка алгоритму автоматичного керування технологічним циклом процесу темперування шоколадної глазури.....	81
4.3 Висновки за розділом.....	83
5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.....	85
5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів і місць їх розміщення.....	85
5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	87

5.3 Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу.....	88
5.4 Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	90
5.5 Висновки за розділом.....	94
6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	95
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж.....	95
6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування.....	98
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання.....	106
6.4 Висновки за розділом.....	110
7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	111
7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування.....	111
7.2 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога.....	112
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	113
7.4 Тестування системи керування.....	121
7.5 Висновки за розділом.....	123
8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.....	124
8.1 Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення.....	124
8.2 Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи.....	125

8.3 Розробка принципів схем.....	127
8.4 Охорона праці.....	128
8.5 Висновки за розділом.....	135
Висновок.....	136
Перелік джерел.....	139
Додатки.....	142
Додаток А Документація до схеми автоматизації	143
Додаток Б Документація до принципової електричної схеми.....	145

Перелік умовних позначень

АСУТП – автоматична система управління технологічним процесом;

ПК – персональний комп'ютер;

МПК – мікропроцесорний контролер;

САУ – система автоматичного управління;

ФФ – формуючий фільтр;

СП – стохастичний процес;

ОР – об'єкт регулювання;

ТП – технологічний процес;

САР – система автоматичного регулювання;

ЗНВ – зона незначущих відхилень;

КЗ – коригувальний зв'язок;

ЦДП – цифрово-диференційний перетворювач;

ДЦП – диференційно-цифровий перетворювач;

ЦАП – цифрово-аналоговий перетворювач;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

ОП – операторський пункт.

Вступ

Сучасні автоматизовані системи управління технологічним процесом (АСУТП) являють собою автоматизовані робочі місця (АРМ) операторів-технологів ділянок або технічних керівників і відрізняються від застарілих локальних систем автоматизації (ЛСА) тим, що вони забезпечують більш повну інформацію про ТОУ, обробляють інформацію, яку подають оперативному персоналу під певним форматом, коригують продуктивність технологічного обладнання (взаємодії) ТОУ і головне, що управління направлено на найбільш раціональний хід ТП, ефективність якого оцінюється економічними критеріями. Такі АРМи реалізовані на базі комп'ютерних засобів, які об'єднані в локальну мережу. У АСУТП харчових виробництв найбільшого поширення набула трирівнева структура. На нижньому рівні здійснюється управління окремими пристроями та агрегатами. Другий рівень базується на комплексі з використанням мікроконтролерів. На третьому використовуються ЕОМ, які координують роботу попередніх рівнів і вирішують завдання оперативного управління виробництва в цілому. Покладені на АСУТП функції виконуються при взаємодії, слідуючи її складових частин: математичного, інформаційного, технічного, програмного, організаційного забезпечення та оперативного персоналу.

Тому для підвищення якості управління найбільш доцільно використовувати автоматизовані системи управління, з використанням сучасних засобів автоматизації. Виходячи з вищевказаного, і враховуючи той факт, що на даний час не всі підприємства харчової промисловості використовують у своїй роботі сучасні засоби автоматизації, можна зробити висновок, що дана робота, метою якої є розробка АСУ ТП темперування шоколадної маси з використанням сучасних технологій автоматизації, є актуальною.

1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів 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

ЗАТ «Одессакондитер» - одне з найстарших підприємств України. В 1820 році в Одесі було створено маленьке приватне підприємство – торговий дім «Брати Крахмальнікови» – перша кондитерська фабрика на півдні країни. Кондитерські вироби їхнього торгового дому не мали потребу в особливій рекламі й користувалися заслуженою популярністю не тільки в тодішній Російській імперії: вони завоювали гран-прі на міжнародних промислових виставках у Лондоні та Парижі, відзначалися золотими медалями в Ростові-на-Дону, Москві, Лондоні. В 1918 році фабрика була націоналізована й стала називатися «Перша радянська кондитерська фабрика». В 1922 році їй було присвоєно ім'я Рози Люксембург. До початку Великої Вітчизняної війни фабрика перетворилася у велике промислове підприємство універсального типу. В 1947 році було побудовано і запущено в експлуатацію основний виробничий корпус. З тих пір підприємство постійно розширювалося, нарощувало виробничі потужності, освоювало нові види кондитерських виробів.

Продукція підприємства неодноразово завойовувала престижні нагороди не тільки в Україні, але й на Міжнародних виставках-ярмарках в Угорщині, Канаді, США, Німеччини, Італії й інших країн.

У липні 1992 року об'єднання стало орендним підприємством. У серпні 1993 року об'єднання було приватизовано працівниками фабрики, а з 19 березня 1994 року створено Акціонерне товариство закритого типу «Одеса». В 1999 році генеральний директор підприємства був нагороджений призом

Європейського CANDY KATTLE клубу за професійну перевагу над своїми конкурентами у виробництві кондитерських виробів, дослідженнях, технічному розвитку та інноваціях в області якості продукції, маркетингу, за особистий прогрес у галузі, а в 2000 році підприємство визнане кращим у рейтингу «Золота фортуна». З 01.01.2004 року ЗАТ «Одеса» було реорганізовано в ЗАТ «Одессакондитер» і ЗАТ «Торговий Дім Люксембурзький».

На початку 2004 року ЗАТ «Одессакондитер» впровадило систему менеджменту якості ISO 9001:2000, і отримало сертифікат міжнародного зразка.

1700 співробітників ЗАТ Одессакондитер по праву пишаються своїм підприємством. Сім технологічних цехів забезпечують виробництво 250 найменувань кондитерських виробів:

1. Цех вищих сортів цукерок;
2. Цукерково-шоколадний цех;
3. Карамельний цех;
4. Цукерково-карамельний цех;
5. Вафельний цех;
6. Борошнисто-кремовий цех;
7. Зефірно-Мармеладний цех.

Головний акцент робиться на застосування тільки натуральних видів сировини: какао-бобів, какао-масла, какао-тертого, какао-порошку, горіхів, кураги, ізюму, натурального яблучного пюре, молочних продуктів і вершкового масла. Кондитерські вироби, що випускаються під торговельною маркою «Люкс», заслужено користуються великою популярністю в наших покупців і сполучають у собі висока якість і доступні ціни.

Деякі економічні показники процесу виробництва шоколадної глазури:

- обсяг виробництва – 2 т/добу;
- ціна сировини – 3 тис. грн./т;
- час роботи в році – 300 діб;

- витрати електроенергії – 7,5 кВт / год.

Шоколад є продуктом переробки какао-бобів з цукром. В залежності від рецептури та способу обробки виділяють шоколад звичайний, пористий та з начинкою. Також шоколад випускають в виді напівфабрикату для виробництва цукерок – шоколадної глазури.

Для виробництва шоколаду і шоколадної глазури зокрема технологічний процес може бути представлено технологічною схемою, наведеною на рис. 1.1.

Какао-боби завантажують в приймальний отвір норії 1. Шнеком 2 вони подаються на терези 3, а потім стрічковим конвеєром 4 через завантажувальну норію – в очистно-сортувальну машину 5, де відділяються механічні домішки та сортуються за розміром. Потім какао-боби подаються для термічної обробки в шахтну сушарку 6, яка, окрім зони обсмажування, має зону охолодження. Обсмажені та охолоджені какао-боби з проміжного збірника 7 поступають в дробарно-сортувальну машину 8. Тут вони подрібнюються і діляться на какао-крупку та оболонку. Отримана какао-крупка подається в бункер 9 і в розмелювальний агрегат 10. Отримана суспензія (какао терте) поступає в приймальний збірник, звідки насосом 11 перекачується в збірник 12 на дві лінії переробки: для отримання какао-масла та шоколадної маси.

Какао терте, призначене для пресування, піддається спеціальній обробці в вакуум-конші 13.

На гідропресовій установці 14 шляхом пресування какао тертого отримують какао-масло. Утворені при пресуванні диски какао-жмиху потрапляють на попереднє грубе подрібнення в жмиходробарку 15. Отримані гранули жмиху направляються в бункери 16 для охолодження, а потім в бункер 17 розмелювального агрегату 18. Отриманий какао-порошок охолоджується в агрегаті 19 і подається в циклон 20, де відділяється від повітря. Готовий какао-порошок поступає на фасувально-пакувальний

автомат 21, де фасується в картонні коробки, що обклеюються целофаном на агрегаті 22. Отримане в результаті какао-масло поступає в збірник 27.

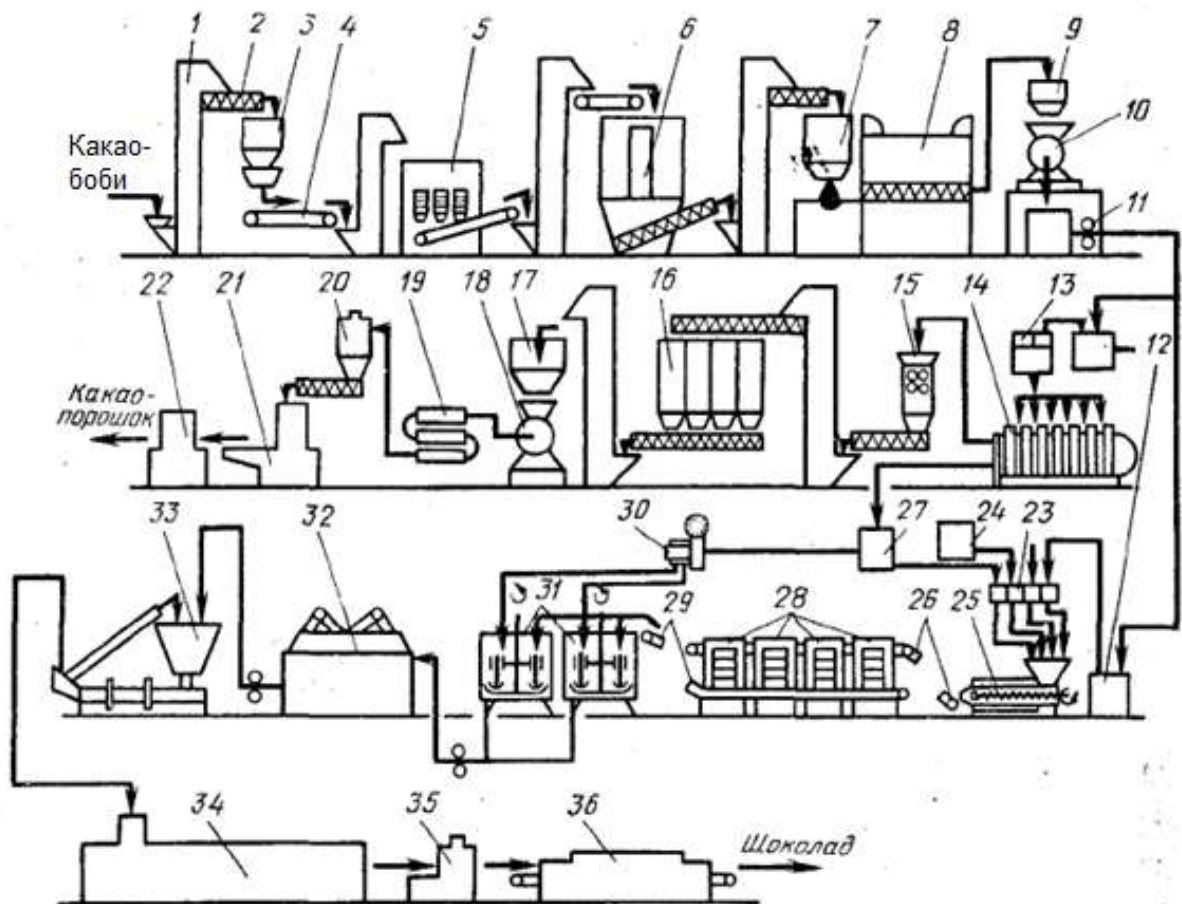


Рис. 1.1 – Узагальнена технологічна схема виробництва шоколаду

Друга частина какао тертого із збірника 12 подається на рецептурно-змішувальну станцію, яка має дозатори 23 та змішувачі 25. Через дозатори 23 в змішувач, окрім какао тертого, подаються какао-масло, цукрова пудра, яку отримують з цукру-піску в дробарці 24, сухе молоко та інші компоненти рецептури. Отримана в змішувачі 25 шоколадна маса конвеєром 26 транспортується до п'ятивалкового млина 28. Провальцьована шоколадна маса конвеєром 29 подається до шоколадної машини 31, в яку дозатором 30 подається какао-масло для розведення. Тут же в шоколадну масу вводять розріджувач. Після цього шоколадну масу обробляють в кошмашині 32. Підготовлену таким чином шоколадну масу темперують на темперуючій

машині 33 і подається на формуючий автомат 34, де проводять відливання та охолодження шоколаду. Готовий шоколад загортається на машині 35 та упаковується на машині 36.

У випадку з шоколадною глазур'ю, вона після темперування може потрапляти не на формування, а безпосередньо на процес відливання корпусів цукерок.

Процес темперування шоколадної маси здійснюється наступним чином. Рідку шоколадну масу перед обробкою, наприклад в глазурованій машині або в ливарної машині, попередньо кристалізують. Процес пов'язано з інтенсивним перемішуванням в темперуючій зоні та охолодженням, що має призвести до утворення затравочних кристалів. У зоні послідовного нагрівання шоколад буде так підігрітий, що нестабільні кристали знову розплавляться. Процес темперування складається в утворення певної гомогенної структури кристалів з переважної більшості стабільних β -кристалів.

Температура (попередньо кристалізувати) необхідна для :

- швидкого затвердіння оброблювального шоколаду;
- затвердіння в стабільній β -формі кристалів;
- гарного блиску;
- достатньо твердого якості;
- попередження жирового інею;
- доброго стискання і формування;
- дрібної роздробленої структури.

Темперуванням зводиться не до досягнення певної температури шоколаду, а утворення певної структури кристалів.

За допомогою підвищеної інтенсивності в зв'язку неперервною циркуляцією води, можна досягти турбо-темперуючим методом такі високі температури глазури, які досі вважалися неможливими.

Для молочної шоколадної глазури, температура зоні може бути значно вищою 28,5°C При цьому плавляться усі, нестабільні форми кристалів. Крім

того ця маса може бути нагріта в зоні подальшого нагріву і зоні стабілізації до 35,2°C без зменшення її темперують ступеня. Це можливо тільки тому, що вона містить в більшості або навіть виключно кристали стабільної β -форми.

Темперування шоколадної маси, технологічна схема якого наведена на рис. 1.2, містить у собі збірник необробленої глазури та темперуючу установку.

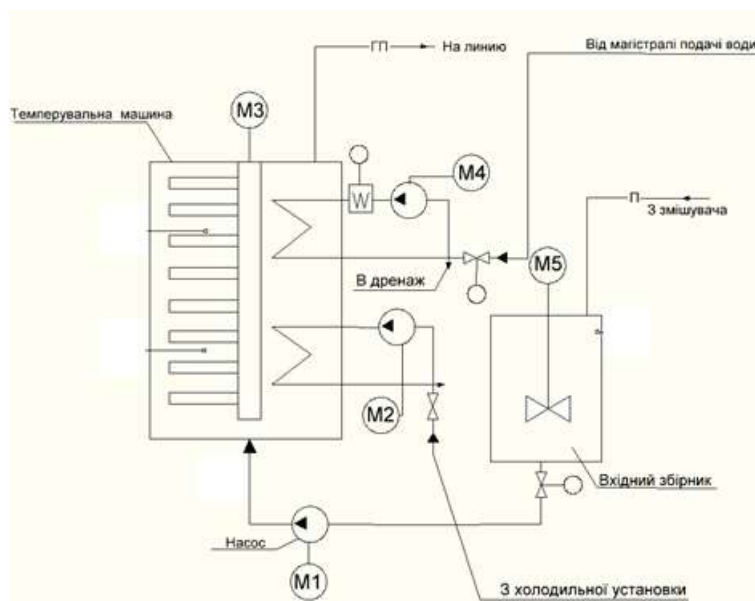


Рис. 1.2 – Технологічна схема темперування шоколадної маси

Спочатку необроблена шоколадна маса подається зі змішувача у вхідний збірник. З вхідного збірника маса надходить у агрегат в першу зону обробки шоколадної глазури .

Для темперування шоколадної глазури використовують темперуючі машини різної конструкції, зокрема вертикальні темперуючі ємності.

При надходженні продукту в зону охолодження вона з холодильної установки надходить до зони охолодження продукту . На виході с зони охолодження кінцева температура шоколадної глазури 28,5°C.

Потім шоколадна маса надходить с зону підігріву. При надходженні продукту в цю зону вода яка нагрівається за допомогою тону, надходить в установку і нагріває продукт який циркулює в зоні підігріву. Коли температура продукту досягає 35,2°C, оброблена шоколадна маса подається на лінію.

Темперуюча машина Turbotemper е ТЕ (рис. 1.3) має продуктивність 1200 кг/год.

Принцип Turbotemper®е «першим увійшов/першим вийшов» гарантує постійний певний час перебування. Запатентована маса і потік води є основою для ефективного теплообміну з низьким енергоспоживанням. Низький вміст маси дає переваги при зміні мас.

Особливості:

- постійний ступінь темперування, навіть при зміні температури подачі або пропускної здатності шоколаду;
- принцип «перший прийшов/перший вийшов»;
- однорідний розподіл кристалів завдяки запатентованим скребкам;
- більший контроль температури та економія завдяки запатентованим охолоджуючим дискам;
- високий комфорт експлуатації та широке керування даними;
- доступний із вбудованим ступенем декристалізації.



Рис. 1.3 – Конструкція темперуючої машини Turbotemper е ТЕ

Метою технологічного процесу темперування є отримання шоколадної глазури із заданими показниками якості. І, звичайно, даний технологічний процес доцільно реалізовувати в тому випадку, якщо в результаті його проведення підприємство отримує певний економічний прибуток. А для цього необхідно, щоб виконувалися деякі умови. Для процесу темперування вони наступні:

- кількість шоколадної глазури, вироблена за 1 годину, не повинна бути меншою, ніж 2000 кг;
- втрати сировини й продукту не повинні перевищувати 3% від первісної маси;
- питомі, тобто на одиницю продукції, витрати енергії на процес не повинні перевищувати нормативних значень;
- режими роботи технологічного обладнання не повинні виходити за гранично-припустимі;
- шкідливий вплив технологічного процесу на людину й природу не повинне перевищувати нормативних значень;
- порушення режимів ведення технологічного процесу й роботи обладнання, що приводить до аварійних ситуацій, переростання яких в аварію приводить до значних економічних втрат або навіть до катастрофічних наслідків, повинні траплятися рідко та повинні бути передбачені заходи щодо попередження таких ситуацій. Для даного процесу передбачено відключення подачі шоколадної маси в накопичувач шляхом аварійного відключення шестерного насосу.

Представимо розглянутий технологічний процес темперування шоколадної маси у вигляді параметризованої схеми (рис. 1.3).

Розглянемо параметри, нанесені на дану схему:

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

U – напруга в мережі ;

F_e – витраті електроенергії;

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності ;

P – тиск готового продукту;

$F_{гп}$ – витрати готового продукту;

u_2 - положення регулювального органу підігріву води;

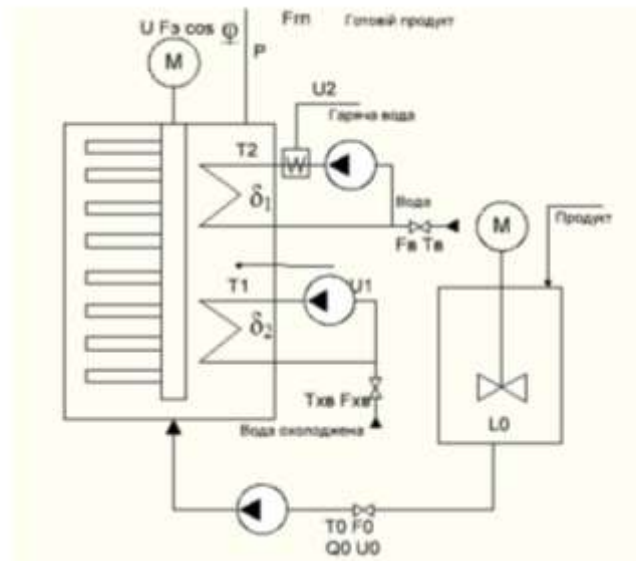


Рис 1.3 – Параметризована схема технологічного процесу темперування шоколадної маси

T_1 – температура в зоні охолодження;

T_2 – температура в зоні підігріву;

u_1 – положення регулювального органу, що визначає продуктивності насоса холодної води;

$T_{хв}$ – температура холодної води;

$F_{хв}$ – витрати холодної воді;

F_v – витрати води ;

T_v – температура води;

T_o – початкова температура продукту;

F_0 – початкові витрати продукту ;

Q_0 – початкова консистенція продукту ;

L_0 – рівень продукту в мішалці ;

δ_1 – контур нагрівання продукту;

δ_2 – контур охолодження продукту;

U_0 – положення регулюючого органу, що забезпечує подачу продукту на ділянку.

Проведемо первинний аналіз параметрів технологічного процесу темперування шоколадної маси в темперуючій машині Turbotemper e TE.

До регламентованих параметрів віднесемо:

$F_э$ – витраті електроенергії;

$F_{гп}$ – витрати готового продукту;

T_1 – температура в зоні охолодження ;

T_2 – температура в зоні підігріву;

$T_{хв}$ – температура холодної води;

$F_{хв}$ – витрати холодної води;

$F_в$ – витрати води ;

$T_в$ – температура води;

$T_о$ – початкова температура продукту;

F_0 – початкові витрати продукту ;

Q_0 – початкова консистенція продукту ;

L_0 – рівень продукту в мішалці ;

δ_1 – контур нагрівання продукту;

δ_2 – контур охолодження продукту;

U_0 – положення регулюючого органу, що забезпечує подачу продукту на ділянку.

Проведемо поглиблений аналіз регламентованих параметрів.

Основу нормативів ведення технологічного процесу становлять три основних регламенти: технологічний, експлуатаційний, техніко-економічний і екологічний.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті процесу підігрівання шоколадної маси отримують шоколадну глазур із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналів технологічних параметрів. Для нашого процесу

таких, як T_1 – температура в зоні охолодження, T_2 – температура в зоні підігріву.

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від експлуатаційних параметрів даного технологічного об'єкту. Для темперуючої ємності до цієї групи параметрів відносять P – тиск готового продукту.

Техніко-економічний і екологічний регламент – визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних або гранично-припустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. Для процесу темперування шоколадної маси до цієї групи параметрів відносять $F_{\text{гп}}$ – витраті готового продукту, $F_{\text{э}}$ – витраті електроенергії, F_0 – початкові витрати продукту.

При відхиленні параметрів процесу підігріву шоколадної маси від регламентованих значень, обумовлених зміною параметрів, що характеризують умови ведення процесу, навіть при досить ефективному керуванні ним, можуть перевищувати припустимі значення. Однак при виході за допуски технологічних регламентів технологічний процес не зупиняється, а вихід за допуски ліквідується із часом. Наслідком виходу технологічних параметрів за допуски є зниження якості шоколадної глазури і збільшення браку.

Внаслідок порушень технологічного регламенту підтримки температури підігрівання шоколадної маси виникає високий відсоток браку через порушення цілісності шоколадної оболонки, що утворюватиметься з отриманої шоколадної глазури.

Допуски на відхилення поточних значень регламентованих параметрів діляться на тривалі та короточасні. Припустимі відхилення визначають зону незначних відхилень, середнє значення параметру якої можна вважати близьким до нормативного, тому ці відхилення не ліквідують. Короточасні припустимі відхилення параметрів перевищують зону незначних відхилень і

призводять до зниження ефективності процесу, тому вони припустимі тільки протягом обмеженого часу, що задається й входить у регламент. Вихід параметрів за зону короткочасно припустимих відхилень свідчить про відхилення технологічного процесу або експлуатації обладнання, що можуть призвести до аварії. Для аналізу нормативів ведення процесу темперування шоколадної маси складемо таблицю регламентів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

Назва параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	Номинальне значення параметру або ф-ція зміни номинального значення	Припустимі відхилення від номиналу		
				Тривалі ($t \rightarrow \infty$)	Короткочасні ($0 < t < \infty$)	
				величина	величина	час, сек
Температура в зоні підігріву	T_2	°C	35,2	$\pm 0,3$	$\pm 1,0$	120
Температура в зоні охолодження	T_1	°C	28,5	$\pm 0,3$	$\pm 1,0$	120

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номинальних внаслідок зміни умов, у яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами та можуть бути згруповані за певними ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. Для даного процесу до них відносять T_0 (початкові параметри температури), Q_0 (консистенція в мішалці) та L_0 (рівень в мішалці).

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного обладнання зовні та витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів відносять U (напруга в мережі), $\cos \varphi$ (коефіцієнт потужності).

Механічні параметри технологічного обладнання характеризують стан його робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо u_1 (положення

регулювального органу що визначає продуктивності насоса), u_2 (положення регулювального органу підігріву води) та U_0 (початкова потужність насоса).

Формалізована параметрична схема технологічного процесу - максимально можливий рівень формалізації опису технологічного процесу та, одночасно, її можна розглядати як найбільш загальну модель об'єкту керування. З урахуванням розглянутих вище параметрів технологічного процесу проведемо формалізацію опису їх взаємозв'язків, тобто складемо формалізовану параметричну схему технологічного агрегату (темперуючої машини), наведену на рис.1.4.

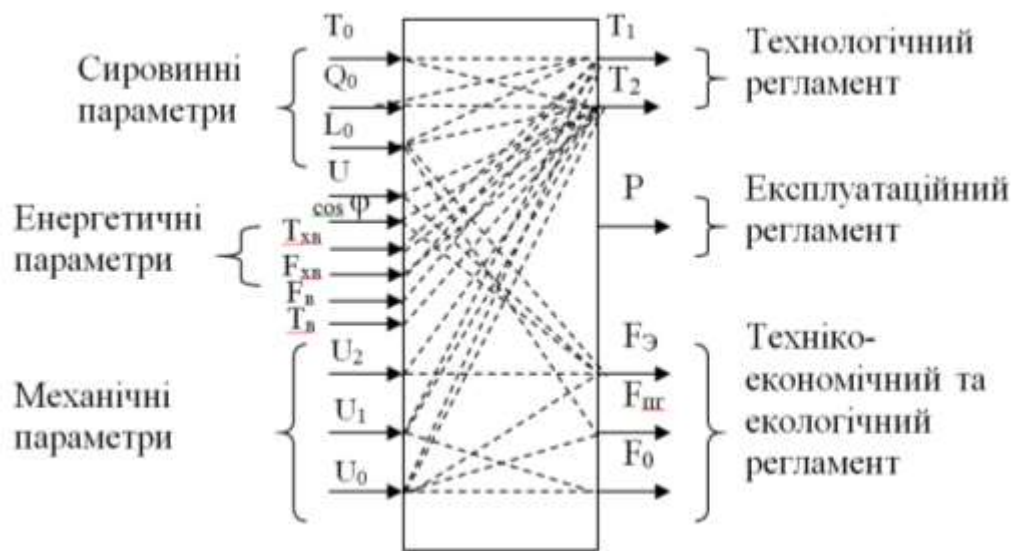


Рис.1.4 – Формалізована параметрична схема процесу темперування шоколадної маси

1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього

Основними рисами автоматизації Turbotemper® e (TE)e

- більш точний контроль температури шоколаду шляхом вимірювання температури в кільцевому зазорі (запатентовано);
- високий рівень комфорту для користувача, широка доступність даних, таких як криві Tempermeter і рекомендації щодо профілактичного обслуговування, можливі за запитом за допомогою сенсорного екрану HMI;

- низьке споживання енергії завдяки ефективній технології з використанням енергозберігаючих компонентів (наприклад, двигунів IE3).

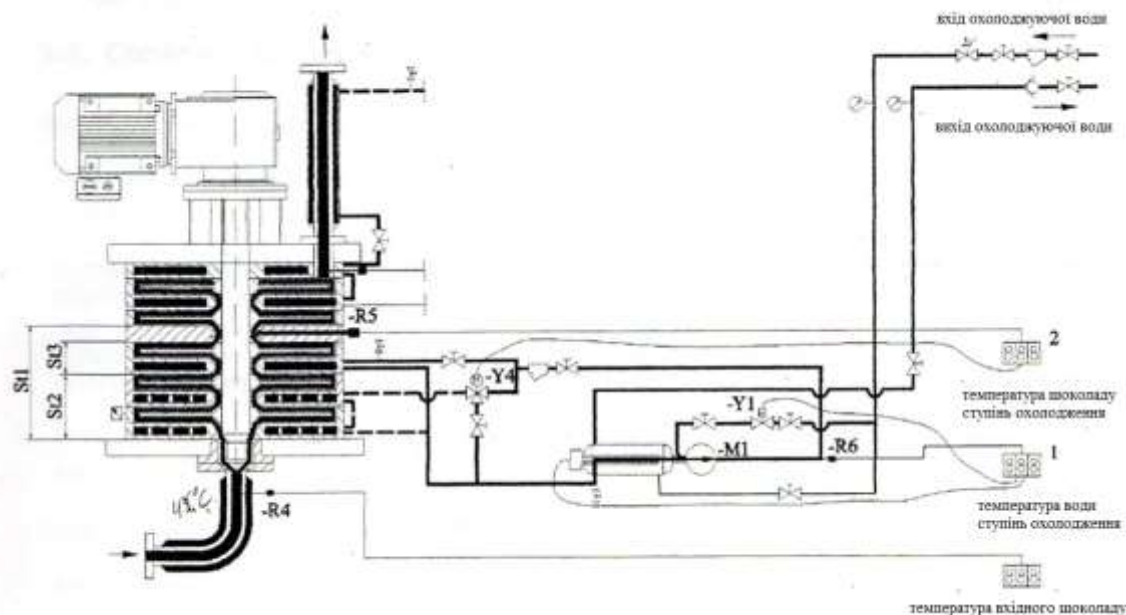


Рис. 1.5 – Конструкція темперуючої машини Turbotemper e TE

- 1 – регулятор температури маси;
- 2 – регулятор температури води;
- R5 – температура маси;
- R6 – температура води;
- Y1 – магнітний вентиль;
- Y4 – модульний вентиль регулювання потужності;
- M1 – перекачувальний насос охолоджуючої води;
- St1 – ступінь охолодження;
- St2 – ступінь попереднього охолодження;
- St3 – ступінь кристалізації.



Рис. 1.6 – Зовнішній вигляд панелі оператора для модифікації машини
Turbotemper ® е TE-D

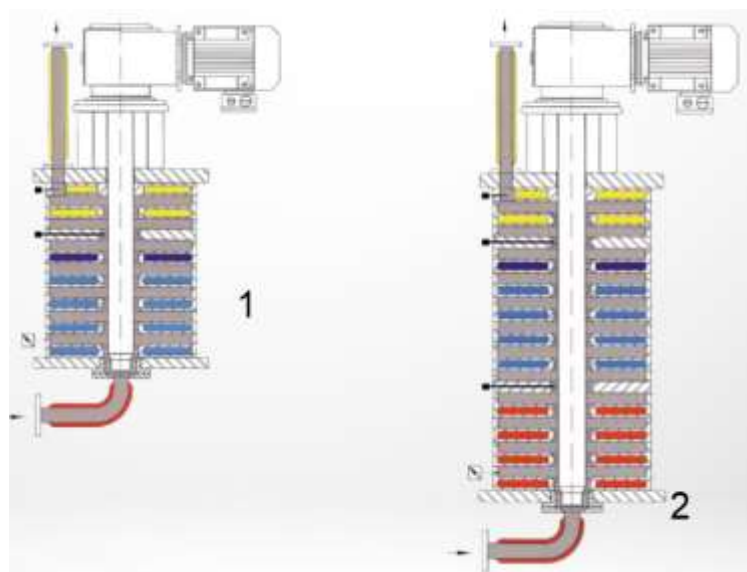


Рис. 1.7 – Варіанти мнемосхем інтерфейсів оператора: 1 - Turbotemper ® е TE; 2 -
Turbotemper ® е TE-D

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

У процесі функціонування системи управління процесом виробництва шоколадної глазурі основним джерелом підвищення ефективності процесу є зменшення втрат від браку готової продукції. Брак готової продукції призводить до необхідності повторного темперування шоколадної маси. Відомо, що зниження браку готової продукції на 1 % процесу темперування шоколадної маси в темперуючій ємності дає економію електроенергії 0,5 кВтгодин на 1 т продукції, економію сировини (з урахуванням повторної переробки) 0,5 кг на 1 т продукції.

Перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної ефективності зведено в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної ефективності

Статті витрат	Очікуваний джерело економії	Кількісна оцінка
Витрати електроенергії	Стабілізація температури шоколадної маси	Зниження браку на 1% дає економію електроенергії – 0,5 кВт/год/т
Економія сировини		Зниження браку на 1% дає економію сировини – 0,5 кг/т

Економічною метою дипломної роботи є підвищення конкурентоспроможності підприємства за рахунок зменшення собівартості

продукції і підвищення рівня його рентабельності при впровадженні модернізованої системи управління.

Система управління процесом темперування шоколадної маси реалізується на базі технічних засобів, ПК та МПК.

Система повинна реалізовувати наступні функції:

а) інформаційні:

- збір та обробка інформації;
- оперативне відображення інформації;
- зберігання інформації;

б) керуючі:

- стабілізація технологічних параметрів;
- логічне керування ходом технологічного процесу;
- ручне (дистанційне) керування технологічним процесом;
- вибір режимів керування.

1.4 Висновки за розділом

Технологічний процес темперування є одним з ключових процесів виробництва шоколадних мас та шоколадної глазури. Підвищення ефективності саме цього процесу здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому саме процес темперування було обрано в якості об'єкту для модернізації системи керування. Провівши аналіз господарської діяльності підприємства і ходу технологічного процесу, можна зробити висновок, що саме на цій ділянці технологічної схеми, можна істотно змінити техніко-економічні показники виробництва в цілому, такі як зменшення втрат від браку готової продукції.

Виходячи з вище викладеного, при впровадженні для процесу виробництва шоколадної глазури модернізованої системи керування на базі мікропроцесорної техніки, яка буде ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися: зниження витрат електроенергії та витрат сировини. Для цього слід буде поліпшити якість регулювання температури,

удосконалити існуючі алгоритми логічного керування, замінити існуючу елементно-технічну базу на більш нові засоби керування.

2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання

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

Загальною метою функціонування підприємства в цілому є виконання планових завдань або договірних зобов'язань щодо номенклатури та обсягу продукції, а також отримання при цьому певного економічного ефекту.

Декомпозиція загальної мети функціонування підприємства для більш низьких рівнів виробничої ієрархії приводить до наступних цілей:

а) на рівні окремого технологічного процесу – координація роботи технологічного обладнання, на якому реалізується процес;

б) на рівні окремих одиниць технологічного обладнання – виконання технологічних, експлуатаційних і техніко-економічних регламентів, зокрема – оптимізація роботи окремих одиниць обладнання.

Звідси задачу керування можна розділити на:

а) задачу регулювання, коли необхідно забезпечити виконання вимог регламенту;

б) завдання умовної оптимізації, коли при дотриманні вимог регламенту додатково відповідно до наперед сформульованим критерієм, вирішуються задачі оптимізації процесу.

Для процесу темперування шоколадної глазурі в якості регульованих координат доцільно виділити температуру шоколадної глазурі в зоні охолодження T_1 та підігріву T_2 .

Необхідною умовою рішення задач керування є наявність керуючих дій. Для процесу темперування шоколадної глазурі в якості керуючих дій доцільно виділити положення регулюючого органу, який управляє подачею води до

зони охолодження u_1 та положення регулюючого органу який управляє подачею води до зони підігріву u_2 .

Після того, як визначені керуючі дії, всі інші входні змінні потрапляють у розряд збурень, тобто таких дій середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими технологічного обладнання. За результатами класифікації збурень було виявлено, що для процесу темперування шоколадної глазури контрольованих збурень виявлено не було. Тому всі входні дії, крім керуючих, відносимо до неконтрольованих збурень.

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК. Вона, по суті, є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК.

Структурна схема процесу темперування шоколадної глазури як об'єкту керування наведена на рис. 2.1.

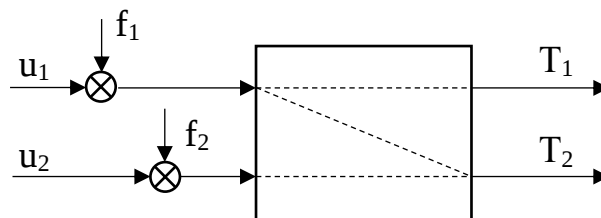


Рис. 2.1 – Структурна схеми об'єкту регулювання

u_1 – положення регулюючого органу, який управляє подачею води до зони охолодження ;

u_2 – положення регулюючого органу який управляє подачею води до зони підігріву;

T_1 – температура шоколадної глазури в зоні охолодження ;

T_2 – температура шоколадної глазури в зоні підігріву ;

f_1, f_2 – неконтрольовані збурення;

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

Перед початком експериментів доцільно на основі апріорних даних, виходячи з фізичної суті об'єкту, оцінити, нехай попередньо, властивості каналів, моделі яких підлягають ідентифікації.

Для технологічного процесу темперування шоколадної глазурі за усіма ОК має властивість самовирівнювання. Збільшення управляючої дії u_1 приведе до зменшення температури в зоні охолодження T_1 та в зоні підігрівання T_2 , а при збільшенні управляючої дії u_2 температура в зоні підігрівання T_2 підвищуватиметься.

Виходячи з фізичної суті теплових процесів, що протікають в ОК, відомо, що відносно у повній мірі математично ці процеси можуть бути описані нелінійними диференціальними рівняннями. Але також відомо, що номінальний режим функціонування ОК пов'язаний з порівняно вузьким діапазоном зміни температур охолодження і підігрівання як регульованої координати. А в такому діапазоні процеси можуть бути описані лінійними диференціальними рівняннями, тобто припустимою є лінеаризація моделі ОК.

Проведемо ідентифікацію лінеаризованих моделей динаміки каналів управління об'єкта регулювання в околиці його робочих режимів.

Активні експерименти можуть проводитися тільки з каналами, вхідні змінні яким доступні для цілеспрямованої зміни. Ними, насамперед, є керуючі дії. При цьому експериментатор може обирати вхідну дію будь-якої форми (ступінчасту, лінійно зростаючу, імпульсну, гармонічну, випадкову). Однак, з розуміння простоти організації цих дій, мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробки його результатів, доцільно використовувати ступінчасті дії.

План активного експерименту

1. За допомогою зміни управляючої дії домагаємося значення регульованої координати, що перебувало б в околиці її номінального значення. Для нашого ОК значенню $u_1 = 60\%$ х.р.о. буде відповідати значення регульованої координати $28,5^\circ\text{C}$.

2. Чекаємо закінчення перехідних процесів в каналі та настання сталого режиму, при якому вихідна змінна перестане змінюватися.

3. Змінімо управляючу ступінчастим чином на 10% х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нового сталого режиму, вхідну дію у такому разі можна не реєструвати.

Результати активних експериментів наведені на рис. 2.2.

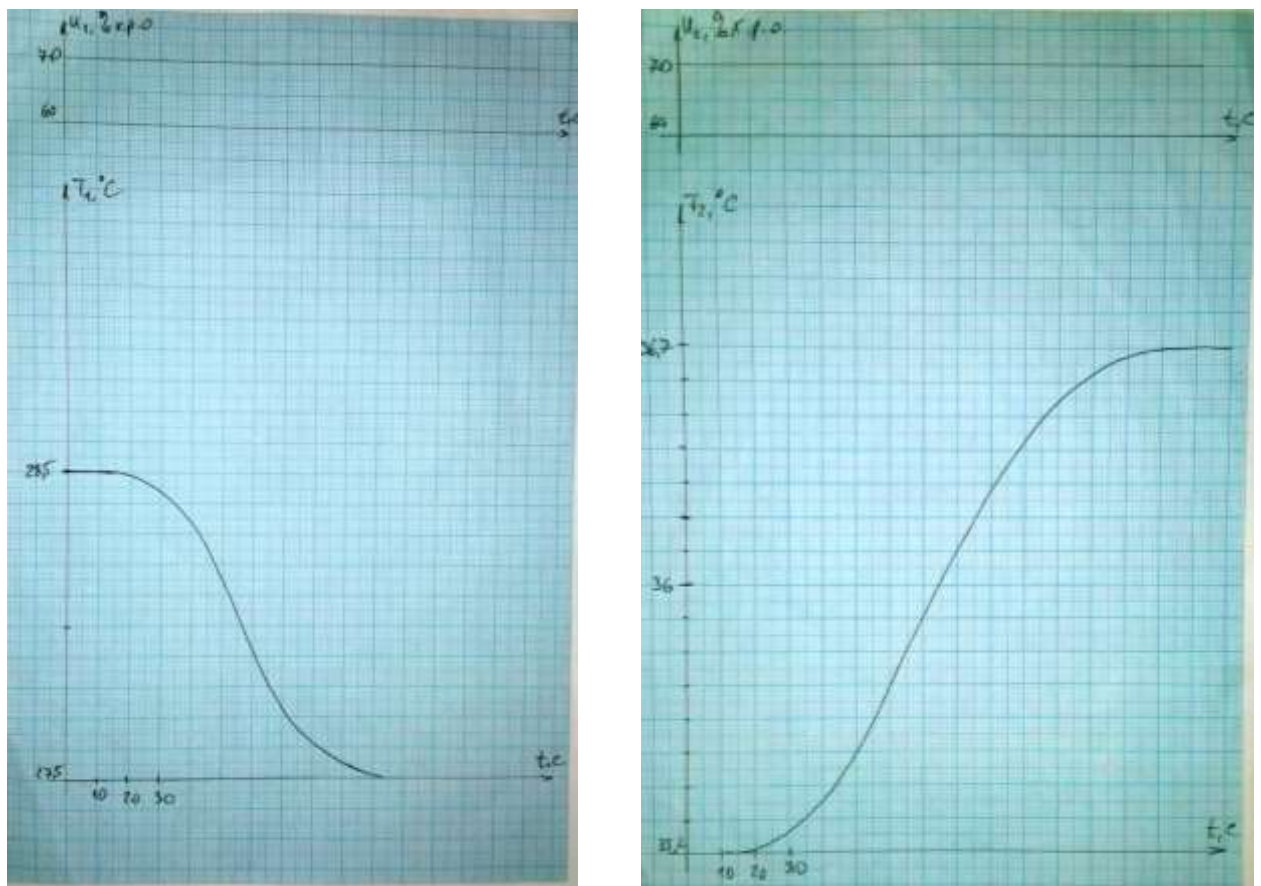


Рис. 2.2 – Результат активного експерименту

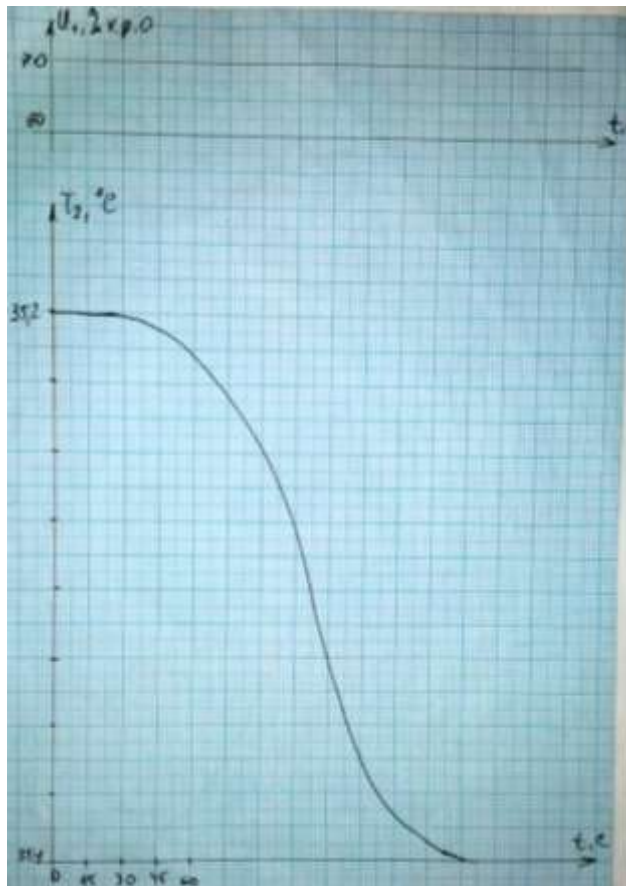


Рис. 2.2 (закінчення) – Результат активного експерименту

За результатами активного експерименту можна зробити висновок, що канал управління нашого ОК має властивість самовирівнювання, а значить його модель може бути описана передаточними функціями: першого та другого порядку:

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2}.$$

Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК (K_0), сталу часу (T_0) і час запізнення (τ_0).

Проводимо параметричну ідентифікацію моделі ОК за каналом « $u_1 - T_1$ » (рис. 2.3).

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta T_1}{\Delta u_1} = \frac{27,5 - 28,5}{70 - 60} = \frac{-1}{10} = -0,1 \text{ } ^\circ\text{C}/\%x.p.o.$$

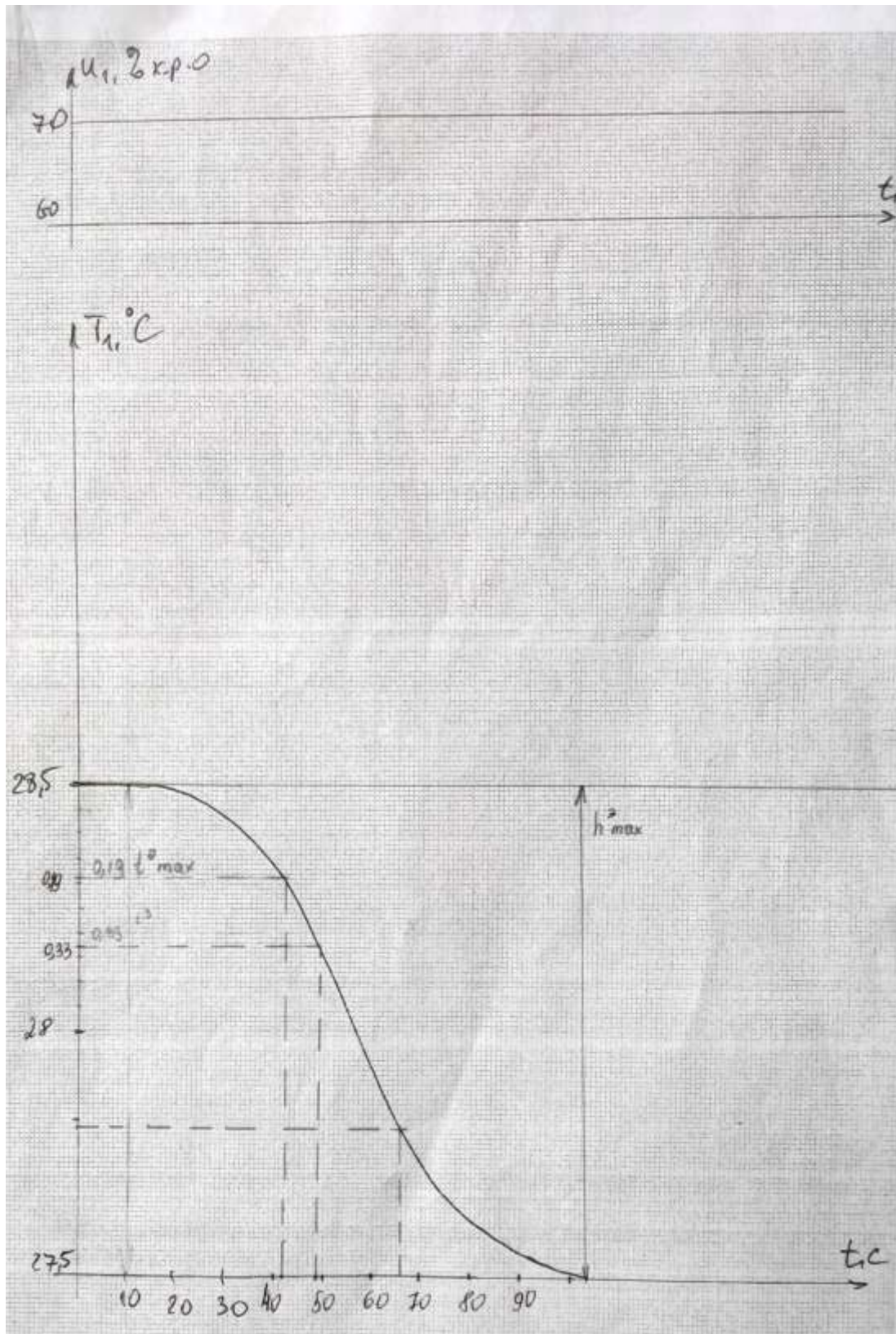


Рис. 2.3 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом " $u_1 - T_1$ "

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики

«ДВОХ ЗАГАЛЬНИХ ТОЧОК».

$$t_{0,33} = 49 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 66 \text{ с}$$

Модель 1-го порядку

$$\tau_o = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 49 - 66) = 40,5 \text{ с}$$

$$T_o = (t_{0,7} - \tau_o) / 1,2 = (66 - 40,5) / 1,2 = 21,3 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі ОК 1-го порядку

$$W_{u_1-T_1}^o(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-40,5p}}{21,3p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$t_{0,19} = 42 \text{ с}$$

$$\tau_o = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 42 - 66) = 30 \text{ с}$$

$$T_o = (t_{0,7} - \tau_o) / 2,4 = (66 - 30) / 2,4 = 15 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі ОК 2-го порядку

$$W_{u_1-T_1}^o(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-30p}}{(15p + 1)^2}$$

Проводимо параметричну ідентифікацію моделі ОК за каналом " $u_2 - T_2$ " (рис. 2.4).

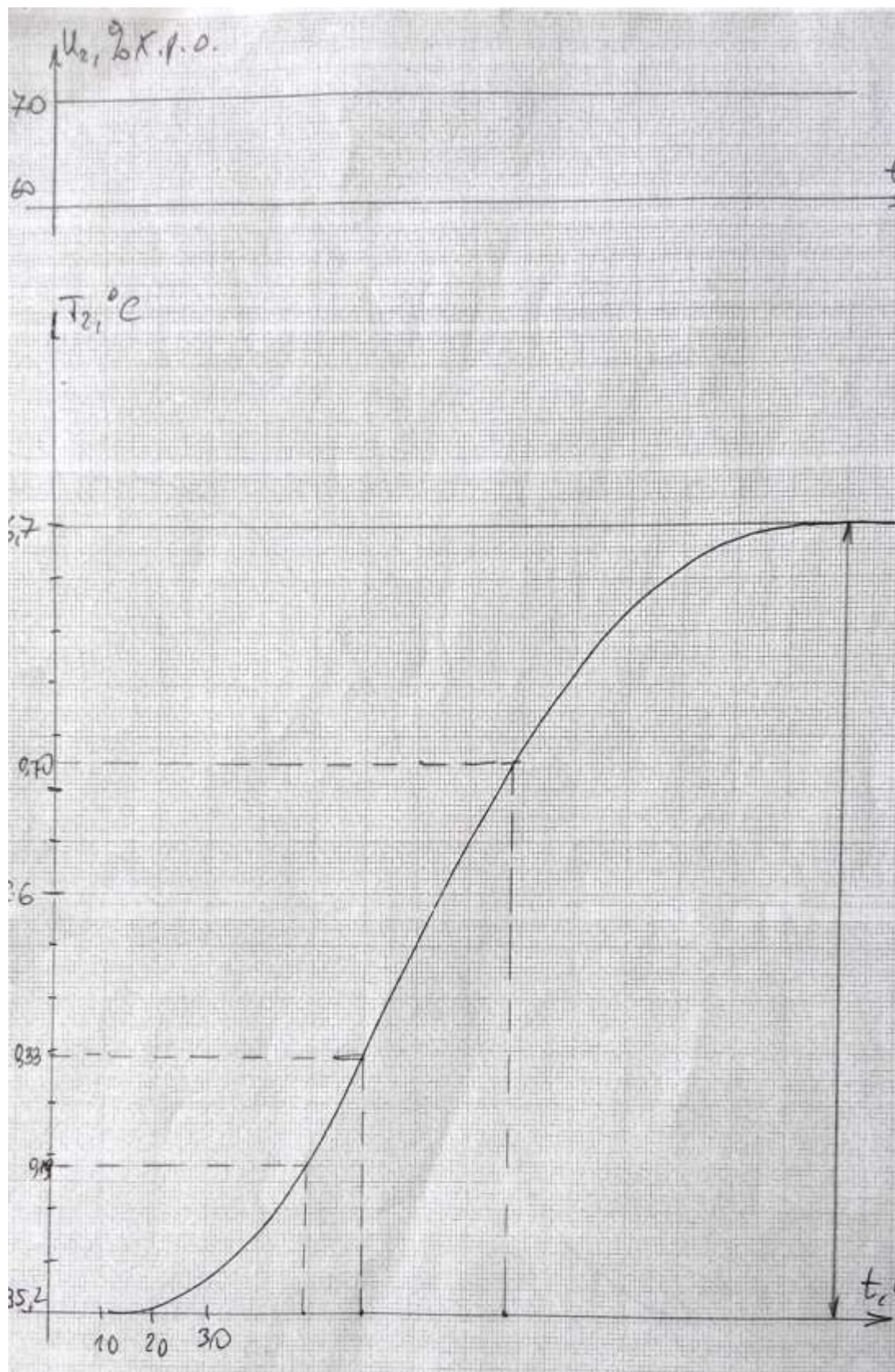


Рис. 2.4 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом " $u_2 - T_2$ "

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta T_2}{\Delta u_2} = \frac{36,7 - 35,2}{70 - 60} = \frac{1,5}{10} = 0,15 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о.}$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики «двох загальних точок».

$$t_{0,33} = 60 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 87 \text{ с}$$

Модель 1-го порядку

$$\tau_o = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 60 - 87) = 46,5 \text{ с}$$

$$T_o = (t_{0,7} - \tau_o) / 1,2 = (87 - 46,5) / 1,2 = 33,8 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі ОК 1-го порядку

$$W_{u_2-T_2}^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-46,5p}}{33,8p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$t_{0,19} = 49 \text{ с}$$

$$\tau_o = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 49 - 87) = 30 \text{ с}$$

$$T_o = (t_{0,7} - \tau_o) / 2,4 = (87 - 30) / 2,4 = 23,8 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі ОК 2-го порядку

$$W_{u_2-T_2}^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-30p}}{(23,8p + 1)^2}$$

Проводимо параметричну ідентифікацію моделі ОК за каналом " $u_1 - T_2$ "
(рис. 2.5)

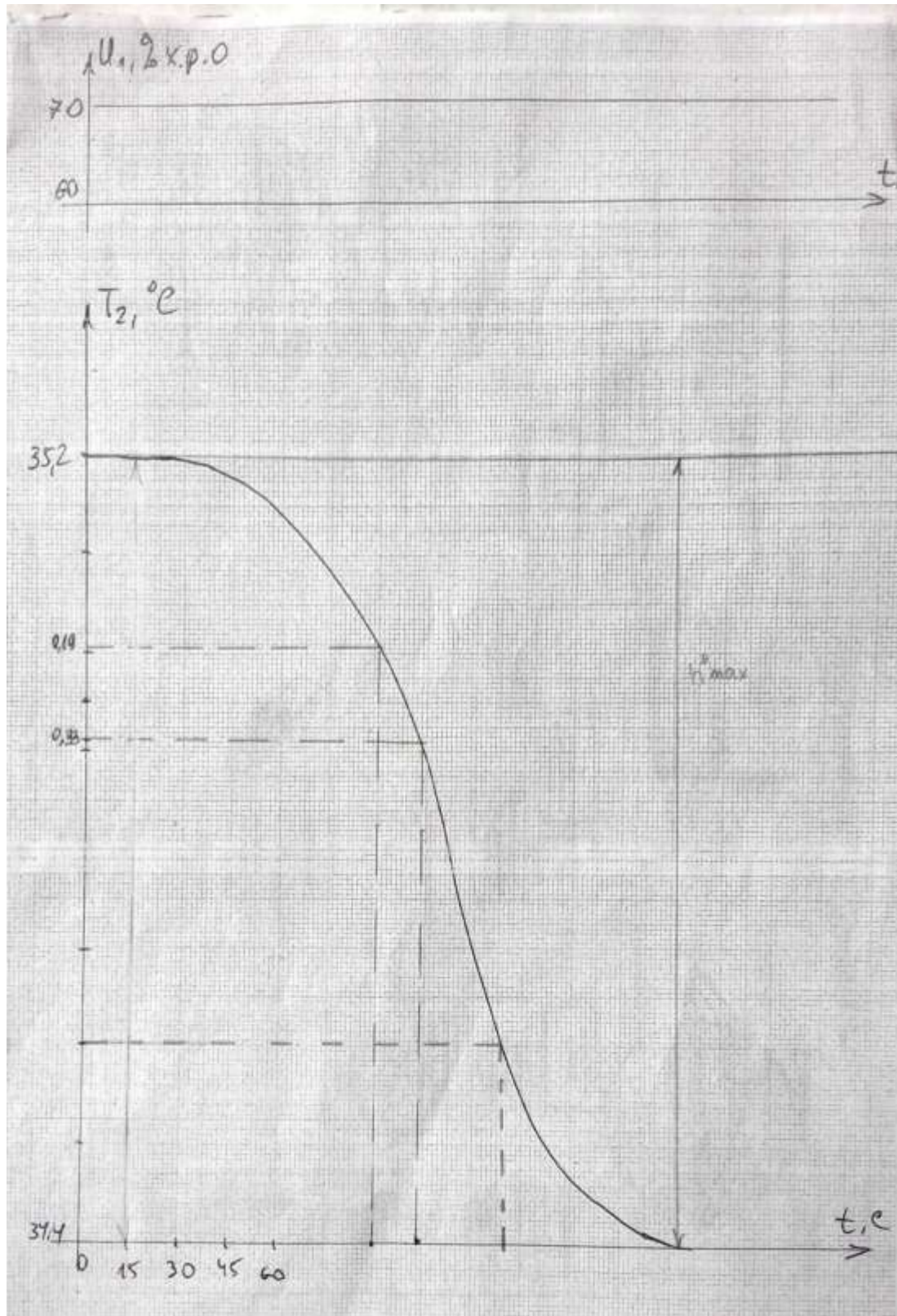


Рис. 2.5 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом " $u_1 - T_2$ "

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta T_2}{\Delta u_1} = \frac{34,4 - 35,2}{70 - 60} = \frac{-0,8}{10} = -0,08 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х. р. о.}$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики «двох загальних точок».

$$t_{0,33} = 103 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 132 \text{ с}$$

Модель 1-го порядку

$$\tau_o = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 103 - 132) = 88,5 \text{ с}$$

$$T_o = (t_{0,7} - \tau_o) / 1,2 = (132 - 88,5) / 1,2 = 36,3 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі ОК 1-го порядку

$$W_{u_1-T_2}^o(p) = \frac{-0,08 \cdot e^{-88,5p}}{36,3p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$t_{0,19} = 87 \text{ с}$$

$$\tau_o = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 87 - 132) = 64,5 \text{ с}$$

$$T_o = (t_{0,7} - \tau_o) / 2,4 = (132 - 64,5) / 2,4 = 28,1 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі ОК 2-го порядку

$$W_{u_1-T_2}^o(p) = \frac{-0,08 \cdot e^{-64,5p}}{(28,1p + 1)^2}$$

Метою цього підрозділу роботи є отримання моделей статички для побудови моделей динаміки в абсолютних величинах. Також метою підрозділу є отримання моделей статички каналі ОК з суттєво нелінійними властивостями, якщо така задача передбачена індивідуальним завданням.

Статичні властивості ОК описуються статичними характеристиками (моделями) каналів. Вони відбивають взаємозв'язок між вхідними і вихідними координатами (перемінними) каналів ОК в статично сталих режимах, тобто після загасання всіх перехідних складових цих перемінних.

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

Значення y , отримані в результаті експерименту, завжди мають випадкову складову, обумовлену дією некерованих і неконтрольованих змінних, похибками вимірювання y та $\vec{x}$. У цьому випадку залежність розум = $y^M = \hat{y} = \Phi(\hat{\vec{x}})$ 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 моделей статички у нашому випадку будемо використовувати активний експеримент.

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 повторах можуть не виявитися. У найпростіших випадках можна використовувати і регулярні плани.

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1 і на рис. 2.6.

Таблиця 2.2 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

№ експерименту	u ₁ , %х.р.о.	u ₂ , %х.р.о.	T ₁ , °C	T ₂ , °C
1	60	60	28,5	35,2
2	70	60	27,5	34,4
3	80	60	26,5	33,6
4	50	60	29,5	36
5	40	60	30,5	36,8
6	60	70	28,5	36,7
7	60	80	28,5	38,2
8	60	50	28,5	33,7
9	60	40	28,5	32,2

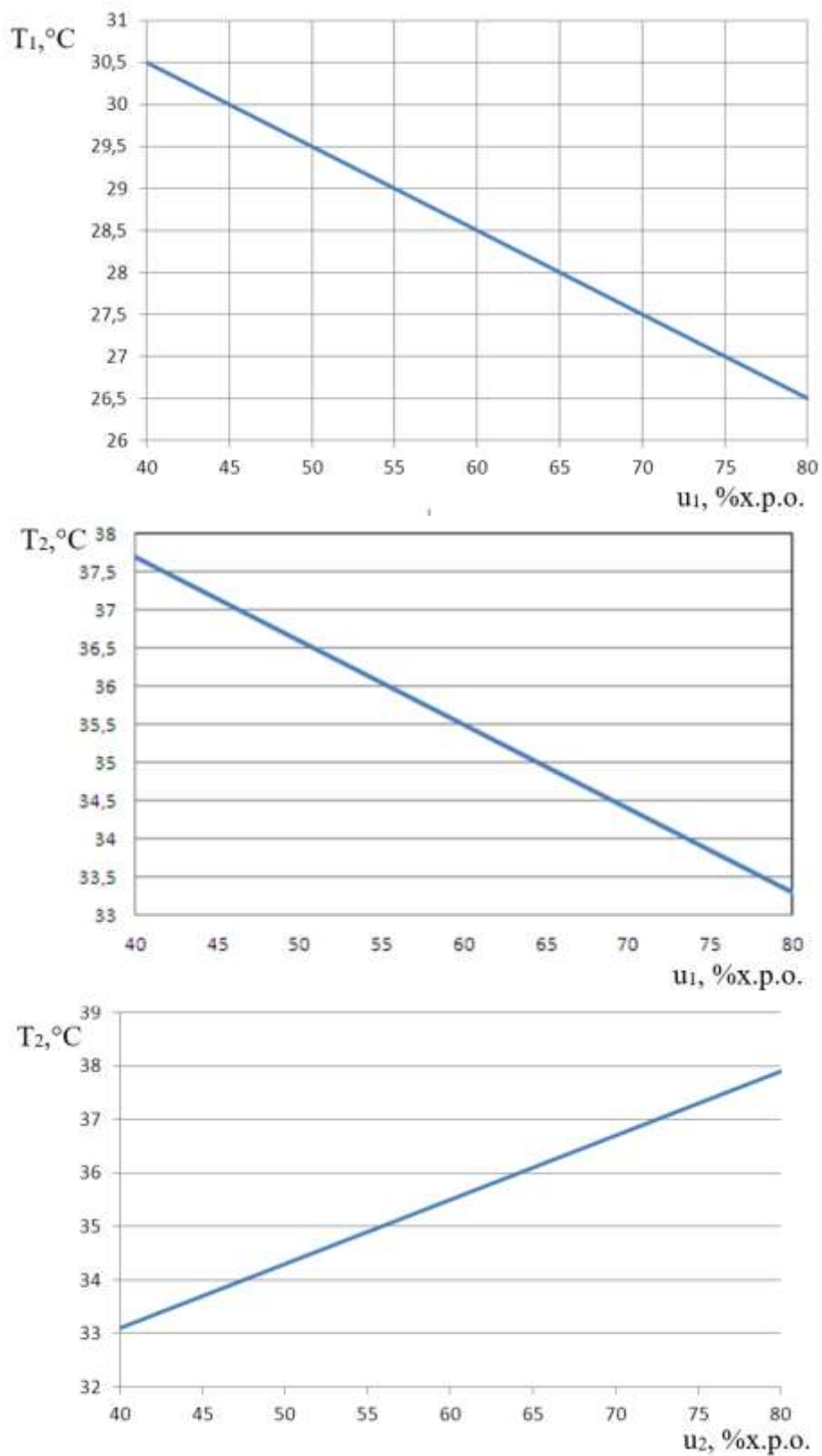


Рис. 2.6 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(\vec{x})$. Структурна ідентифікація є вихідним пунктом

загального завдання ідентифікації моделей статистики. Але, як показує практика, вибрати вид моделі відразу, як правило, не вдається. Причому недоліки вибраної моделі стають очевидними тільки після етапу її параметричної ідентифікації. Усунення недоліків моделі вимагає повернення до процедури структурної ідентифікації. Таких поверів може бути кілька, тобто процедура ідентифікації носить ітераційний характер.

Для проведення параметричної ідентифікації моделі статистики ОК доцільно використовувати метод найменших квадратів. Суть методу полягає в пошуку такого вектора параметрів $\bar{a}^*$ вибраної моделі, що забезпечував би мінімальну суму квадратів розходження між значеннями вихідної змінної об'єкта y , отриманих у результаті експерименту y_i , $i = \overline{1, n}$ при значеннях вхідних змінних $\bar{x}_i$, і вихідної змінної моделі об'єкту y_m , обчисленої при тих же значеннях $\bar{x}$, тобто

$$\bar{a}^* = \arg \min \left\{ I(\bar{a}) = \sum_{i=1}^n \left(y_i(\bar{x}_i) - y^i(\bar{a}, \bar{x}_i) \right)^2 \right\}.$$

Для досліджуваного ОК, як видно з рис. 2.5, статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$$T_1 = a_1 \cdot u_1 + a_0$$

$$T_2 = b_1 \cdot u_1 + b_2 \cdot u_2 + b_0$$

Параметри a_1 , a_2 , b_1 , b_2 були нами визначені в процесі ідентифікації моделей динаміки каналів ОК.

$$a_1 = -0,1 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{x.p.o.},$$

$$b_1 = -0,08 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}, \text{ а } b_2 = 0,15 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

Параметри a_0 і b_0 можна визначити наступним чином:

$$a_0 = T_1 - a_1 \cdot U_1 = 28,5 + 0,1 \cdot 60 = 28,5 + 6 = 34,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$b_0 = T_2 - b_1 \cdot u_1 - b_2 \cdot u_2 = 35,2 + 0,08 \cdot 60 - 0,15 \cdot 60 = 35,2 + 4,8 - 9 = 31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК буде описана залежністю:

$$T_1 = -0,1 \cdot u_1 + 34,5$$

$$T_2 = -0,08 \cdot u_1 + 0,15 \cdot u_2 + 31$$

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

На цьому етапі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для всіх каналів ОК розробляється схема моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку.

Для каналу « u_1-T_1 » передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_{u_1-T_1}^o(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-40,5p}}{21,3p+1}; W_{u_1-T_1}^o(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-30p}}{(15p+1)^2}$$

Моделі повинні мати один вхід, вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж систему координат зводяться експериментальні дані. Для додавання в схему експериментальних даних попередньо готують експериментальні дані в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up-Table. Для досліджуваного ОК експериментальні дані зведено в таблицю 2.2. Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 2.7, результати моделювання наведені на рис. 2.8.

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані (канал « u_1-T_1 »)

t, c	T ₁ , °C	t, c	T ₁ , °C	t, c	T ₁ , °C	t, c	T ₁ , °C
0	28,5	40	28,33	80	27,61	120	27,5
10	28,5	50	28,18	90	27,55	130	27,5
20	28,49	60	27,92	100	27,51	—	—
30	28,43	70	27,69	110	27,5	—	—

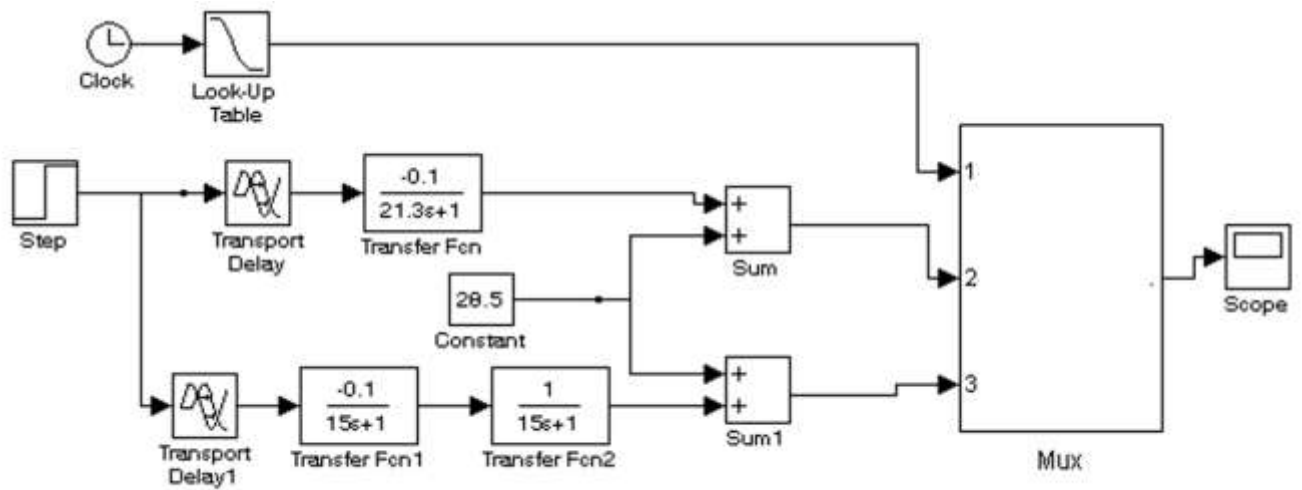


Рис. 2.7 – Схема моделювання каналу управління ОК (канал « u_1-T_1 »)

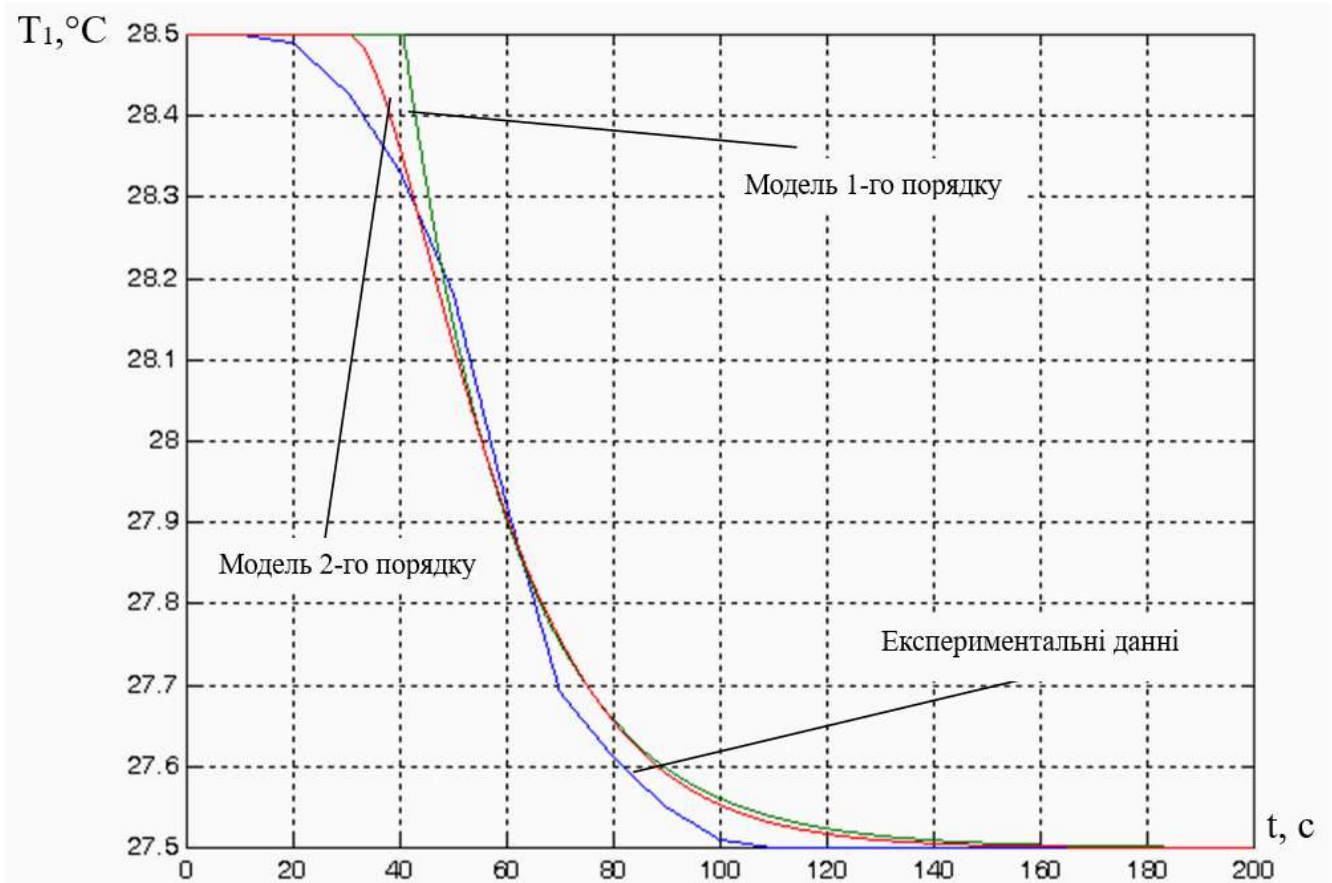


Рис. 2.8 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_1 - T_1$ »

Для каналу « u_2-T_2 » передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_{u_2-T_2}^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-46,5p}}{33,8p+1} ; W_{u_2-T_2}^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-30p}}{(23,8p+1)^2}$$

Експериментальні дані за каналом « u_2-T_2 » зведено в таблицю 2.3, схема моделювання каналу наведена на рис. 2.9, а результати моделювання – на рис. 2.10.

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані (канал « u_2-T_2 »)

t, c	T ₂ , °C	t, c	T ₂ , °C	t, c	T ₂ , °C	t, c	T ₂ , °C
0	35,2	50	35,5	100	36,42	150	36,7
10	35,2	60	35,69	110	36,54	160	36,7
20	35,21	70	35,9	120	36,62	170	36,7
30	35,26	80	36,1	130	36,67	180	36,7
40	35,35	90	36,25	140	36,69	190	36,7

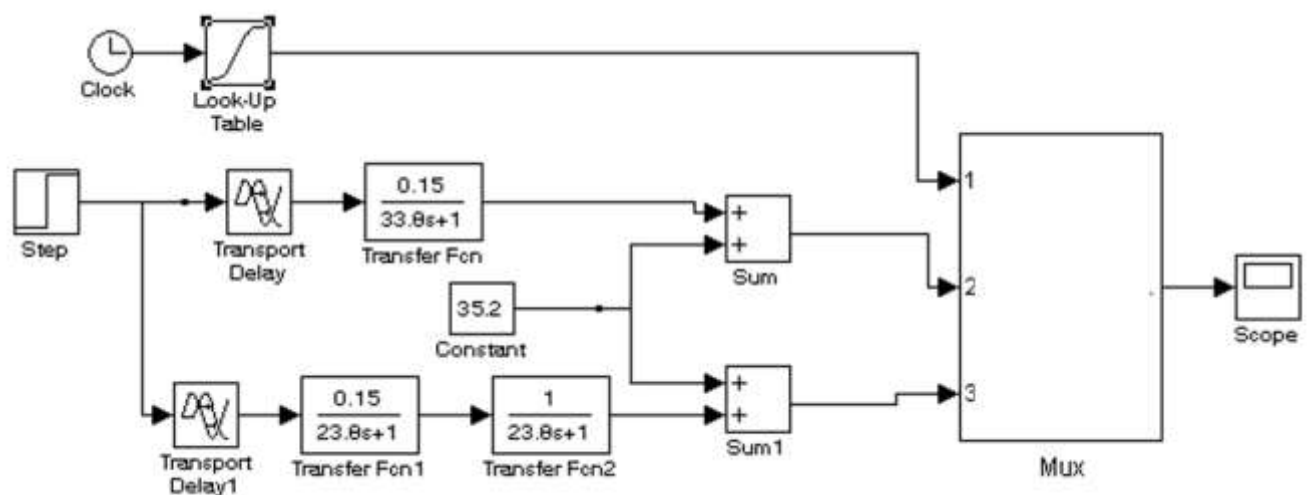


Рис. 2.9 – Схема моделювання каналу управління ОК (канал « u_2-T_2 »)

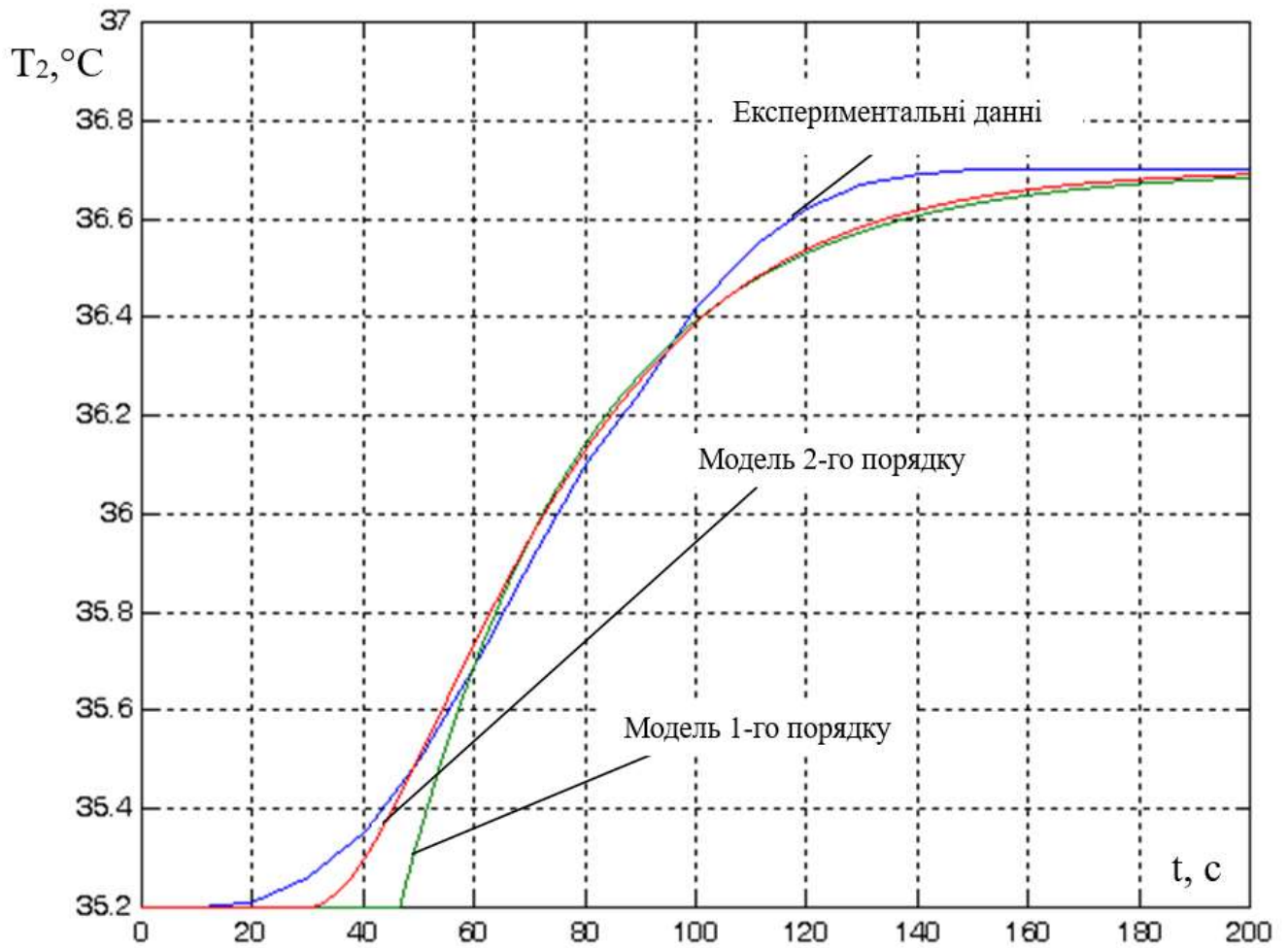


Рис. 2.10 – Результати моделювання ОК по каналу « u_2-T_2 »

Для каналу « u_1-T_2 » передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_{u_1-T_2}^o(p) = \frac{-0,08 \cdot e^{-88,5p}}{36,3p+1}; W_{u_1-T_2}^o(p) = \frac{-0,08 \cdot e^{-64,5p}}{(28,1p+1)^2}$$

Експериментальні дані за каналом « u_1-T_2 » зведено в таблицю 2.4, схема моделювання наведена на рис. 2.11, а результати моделювання – на рис. 2.12.

Таблиця 2.4 – Експериментальні дані (канал « u_1-T_2 »)

t, c	T_1 , °C	t, c	T_1 , °C	t, c	T_1 , °C	t, c	T_1 , °C
0	35,2	60	35,140	120	34,69	180	34,405
15	35,2	75	35,08	135	34,55	195	34,4
30	35,195	90	35,005	150	34,465	210	34,4
45	35,180	105	34,89	165	34,43	225	34,4

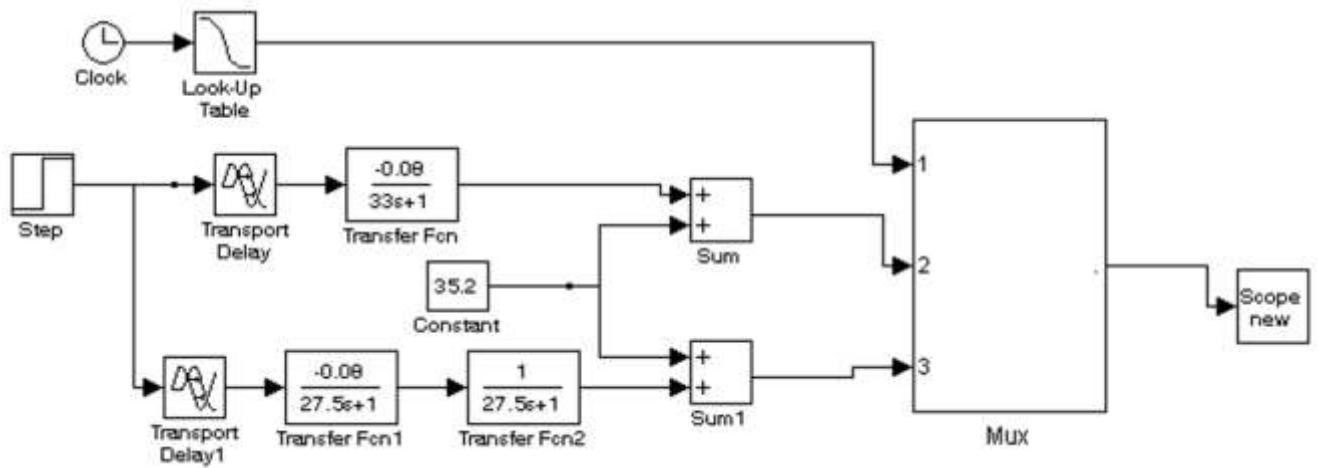


Рис. 2.11 – Схема моделювання каналу управління ОК (канал « u_1 - T_2 »)

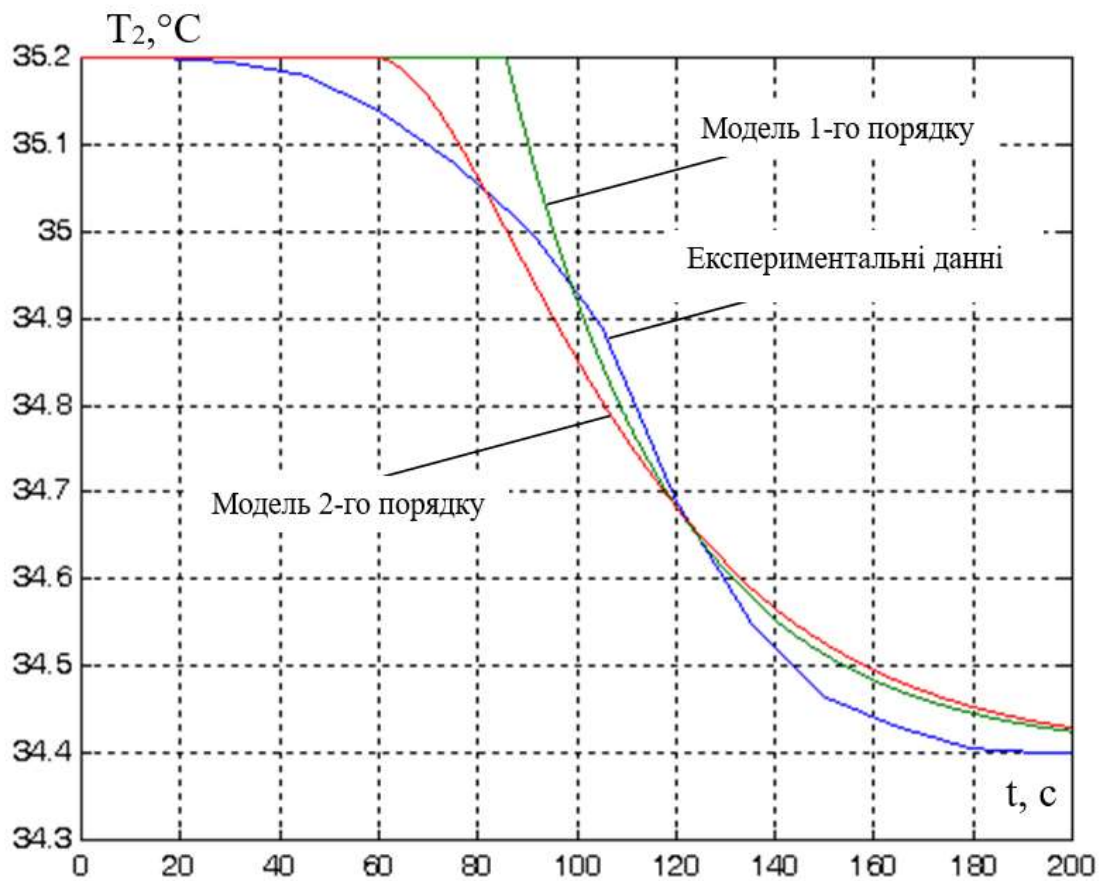


Рис. 2.12 – Результати моделювання ОК за каналом « $u_1 - T_2$ »

Моделі статичних характеристик:

$$T_1 = -0,1 \cdot u_1 + 34,6$$

$$T_2 = -0,08 \cdot u_1 + 0,15 \cdot u_2 + 31$$

Для виконання цього розділу роботи скористаємося можливостями MS Excel та Simulink. Експериментальні дані для перевірки моделей статички наведені в таблиці 2.1, результати розрахунків зведені в таблицю 2.5. Як видно з таблиці, результати моделювання точно повторюють експериментальні дані, а, отже, модель є правильною.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку моделі статички

№ експерименту	u_1 , %х.р.о.	u_2 , %х.р.о.	T_1 , °C	T_2 , °C	Модель T_1 , °C	Модель T_2 , °C
1	60	60	28,5	35,2	28,5	35,2
2	70	60	27,5	34,4	27,5	34,4
3	80	60	26,5	33,6	26,5	33,6
4	50	60	29,5	36	29,5	36
5	40	60	30,5	36,8	30,5	36,8
6	60	70	28,5	36,7	28,5	36,7
7	60	80	28,5	38,2	28,5	38,2
8	60	50	28,5	33,7	28,5	33,7
9	60	40	28,5	32,2	28,5	32,2

Для реалізації повної моделі ОК об'єднаємо моделі динаміки і статички каналів ОК. Схема моделювання в середовищі Матлаб, що відображує модель ОК, наведена на рис. 2.13, а результати моделювання – на рис. 2.14 – 2.16.

Як видно з результатів моделювання, модель ОК достатньо точно відображує експериментальні дані. Це означає, що отримана модель ОК є адекватною.

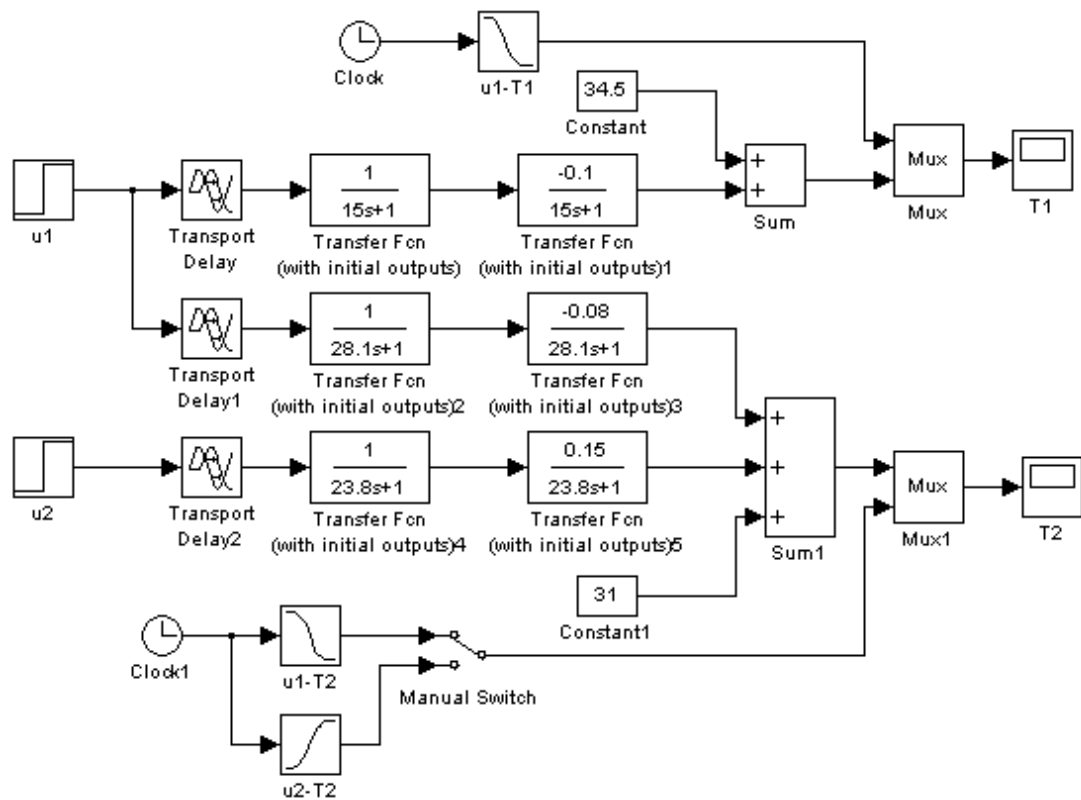


Рис. 2.13 – Схема моделювання

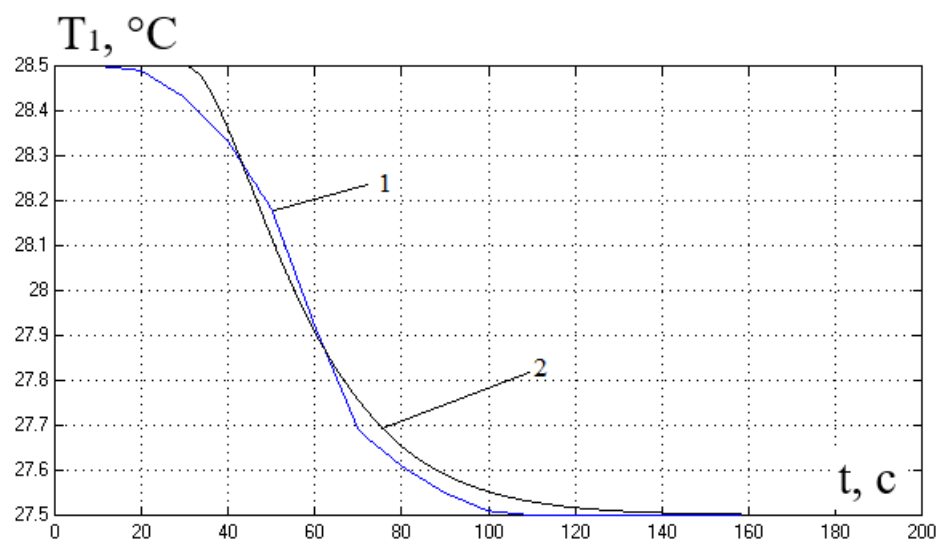


Рис. 2.14 – Результати моделювання за каналом « $u_1 - T_1$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель.

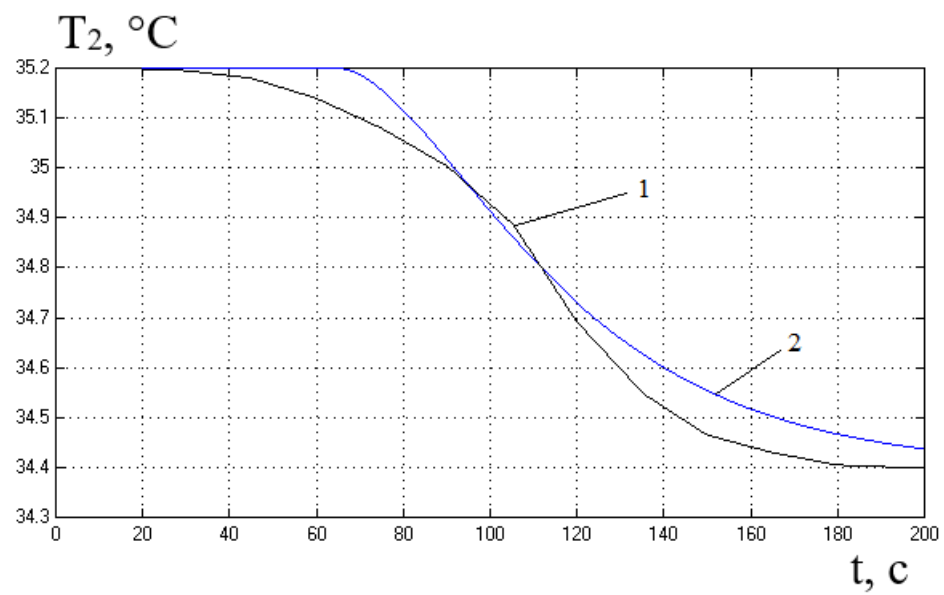


Рис. 2.15 – Результати моделювання за каналом « $u_1 - T_2$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель.

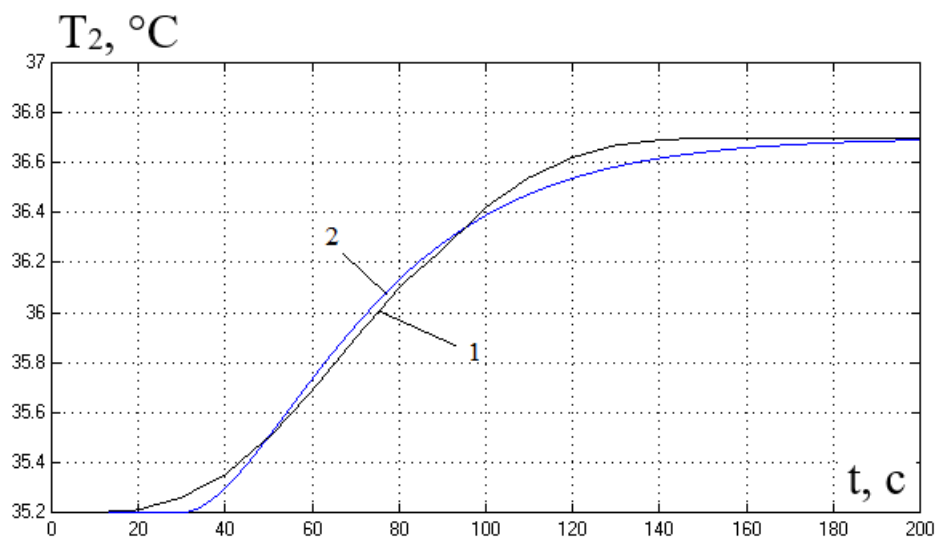


Рис. 2.16 – Результати моделювання за каналом « $u_2 - T_2$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель.

2.4 Висновки за розділом

В результаті виконання цього розділу була проведена ідентифікація моделі процесу темперування шоколаду, як об'єкта керування. Були ідентифіковані канали управління та перехресні канали, в результаті чого було з'ясовано, що всі вищезгадані канали мають статичні властивості, тобто властивостями самовирівнювання. Це пов'язано з тим, що в темперуючій машині протікають процеси, які за своєю природою мають такі властивості. При складанні структурних схем моделювання та їх реалізації були отримані результати, які мають достатній ступінь відповідності реальним передаточних функцій, що свідчить про правильність проведення параметричної ідентифікації моделей каналів ОК.

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

3.1 Формулювання задач керування, вимог до їх розв'язку і вибір основних принципів побудови автоматичних систем

Загальною метою керування є керування матеріальними та енергетичними потоками для отримання властивостей продукту необхідного виду і якості.

Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

- підтримання вихідних змінних об'єкту керування (T_1 , T_2) на її заданому значенні ($T_1^{здн}$, $T_2^{здн}$) - задача регулювання.
- пристосування в процесі роботи об'єкту управління до його змінних властивостей - задача адаптації;
- забезпечення ефективних режимів роботи об'єкту керування - задача оптимізації;
- забезпечити ввімкнення і вимкнення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - завдання логічного керування.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожен із завдань управління.

Для завдання регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної і економічно доцільною реалізації технологічного процесу темперування шоколадної глазури необхідно регулювати температури охолодження T_1 та підігрівання T_2 шоколадної глазури.

Для завдання адаптації необхідна автоматизація пристосування в процесі роботи об'єкта управління до його змінних властивостей, заданим. Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії. Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому інтервалі часу

змінюються мало. Цю задачу можна вирішити, змінюючи (коригуючи) настройки регуляторів в процесі роботи установки.

Для задачі оптимізації слід автоматизувати пошук оптимального протікання процесу, мінімізувати витрати енергії, брак готової продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу темперування шоколадної глазурі цю задачу можна вирішити, підвищивши вимоги до розв'язання задачі регулювання. Головним джерелом підвищення економічної ефективності цього процесу є зниження витрат електроенергії на охолодження і підігрівання води.

Процес темперування шоколадної глазурі в установці Турботемпер є об'єктом неперервної дії. Для нього є характерним тривалий робочий режим, на який об'єкт виводять в дистанційному режимі. Режими пуску і зупинки є неекономічними режимами роботи установки. Підвищення економічної ефективності роботи цього процесу в режимах пуску і зупинки можна досягти, автоматизувавши ці завдання. Тому для даного технологічного процесу актуальна автоматизація задачі логічного керування.

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. табл. 1.1) температура в зоні охолодження T_1 має підтримуватися на рівні $28,5^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$. За цим параметром припустимі короточасні відхилення до $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 120 секунд. Температура в зоні підігрівання T_2 має підтримуватися на рівні $35,2^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$. За цим параметром припустимі короточасні відхилення до $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 120 секунд.

Регламентна зона за цими параметрами наведена на рис. 3.1.

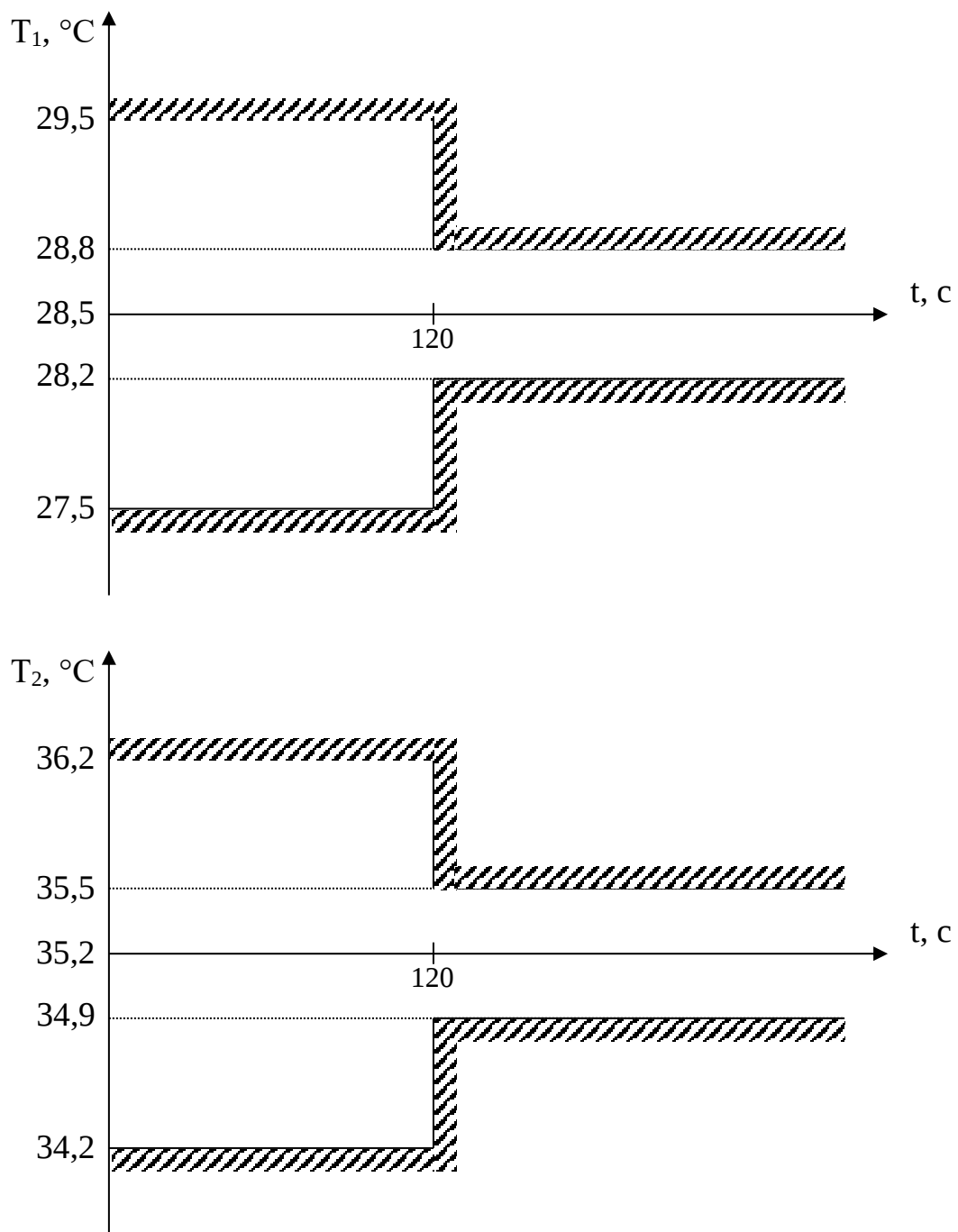


Рис. 3.1 – Регламентні зони процесу темперування шоколадної глазурі в установці Турботемпер

Як видно з регламентів на САР для процесу темперування шоколадної глазурі особливо жорсткі вимоги пред'являються до короткочасних відхилень, так як саме недотримання цих регламентів може призвести до браку готової продукції і суттєвих економічних збитків. При цьому малі відхилення регламентуються не дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію

застосуємо саме інтегральний квадратичний критерій, що штрафує великі відхилення. Тому оцінку ефективності роботи САР темперування шоколадної глазури і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J = \int_0^{T_M} [(\Delta T_1(t))^2 + (\Delta T_2(t))^2] \cdot dt$$

де T_M – час моделювання;

$\Delta T_1(t), \Delta T_2(t)$ – помилки резулювання температур.

Основу керування становить інформація про мету керування або про бажаний стан ОУ $\bar{y}^*$, про поточний стан ОУ $\bar{y}$ та про збуреннях $\bar{f}$. Залежно від обсягу використовуваної керуючим пристроєм (КП) інформації про ОУ виділяють чотири принципи побудови САР: принцип розімкнутого твердого (програмного) керування; принцип розімкнутого керування по збурюванню; принцип замкнутого керування по стані ОУ або керування зі зворотним зв'язком; комбінований принцип керування.

Для системи керування процесу темперування шоколадної глазури доступною, крім інформації про бажаний стан ОК ($T_1^{3ДН}$ і $T_2^{3ДН}$), є інформація про поточний стан ОК (T_1 і T_2). Такий обсяг інформації для формування керуючих впливів (u_1 і u_2) достатній для реалізації замкненого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР температур охолодження і нагрівання шоколадної глазури базової структури і підвищеної динамічної точності. Структурна схема цього принципу керування наведена на рис. 3.2.

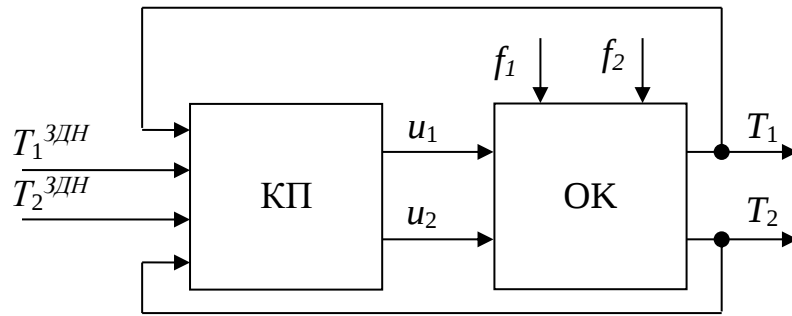


Рис. 3.2 – Структурна схема системи керування, що відповідає замкненому принципу керування

3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Структурна (координатна) схема процесу темперування шоколадної глазури як ОК наведена на рис. 5.1. Відповідно до неї та до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування (рис. 3.2), структурна схема САР матиме вигляд, наведений:

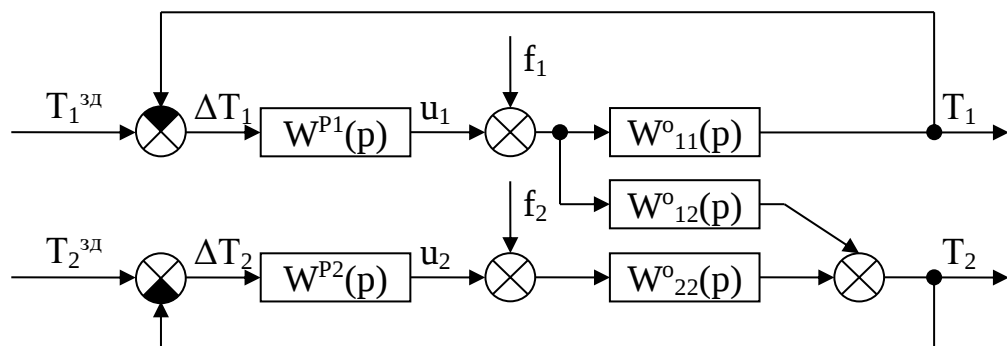


Рис. 3.3 – Структурна схема САР процесу темперування шоколадної глазури базової структури

На рисунку:

u_1 – положення регулюючого органу подачі холодної води, %х.р.о.;

u_2 – положення регулюючого органу підігрівання води, %х.р.о.;

T_1 – температура в зоні охолодження, °С;

T_2 – температура в зоні нагрівання, °С;

$T_1^{зд}, T_2^{зд}$ – задані значення регульованих координат, °C;

$\Delta T_1, \Delta T_2$ – помилки регулювання, °C;

f_1, f_2 – вектори неконтрольованих збурень, %х.р.о.;

$W^{P1}(p)$ – передаточна функція регулятора температури в зоні охолодження;

$W^{P2}(p)$ – передаточна функція регулятора температури в зоні нагрівання;

$W^{o11}(p)$ – передаточна функція ОК по каналу « $u_1 - T_1$ »;

$W^{o12}(p)$ – передаточна функція ОК по каналу « $u_1 - T_2$ »;

$W^{o22}(p)$ – передаточна функція ОК по каналу « $u_2 - T_2$ ».

Процес темперування шоколадної глазури за всіма каналами має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

$$u(t) = K_P \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{I3}} \int \Delta y(t) dt \right) + u_0$$

Передаточна функція ПІ-регулятора

$$W^P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p} \right)$$

Рівняння руху ПІД-регулятора

$$u(t) = K_P \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{I3}} \int \Delta y(t) dt + T_{y\Pi} \cdot \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0$$

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W^P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p} + T_{y\Pi}p \right)$$

В результаті виконання 2 розділу роботи була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій ОК. Результати ідентифікації зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 –Результати ідентифікації каналів перетворення
координатних дій ОК

Канал ОК	Модель динаміки	
	1-го порядку	2-го порядку
« $u_1 - T_1$ »	$W_{11}^o(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-40,5p}}{21,3p + 1}$	$W_{11}^o(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-30p}}{(15p + 1)^2}$
« $u_1 - T_2$ »	$W_{12}^o(p) = \frac{-0,08 \cdot e^{-88,5p}}{36,3p + 1}$	$W_{12}^o(p) = \frac{-0,08 \cdot e^{-64,5p}}{(28,1p + 1)^2}$
« $u_2 - T_2$ »	$W_{22}^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-46,5p}}{33,8p + 1}$	$W_{22}^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-30p}}{(23,8p + 1)^2}$

Розрахуємо початкові наближення параметрів регуляторів температури в зоні охолодження.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_{11}^o(p) = \frac{-0,1 \cdot e^{-40,5p}}{21,3p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_{P1} = \frac{1,1 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{1,1 \cdot 21,3}{-0,1 \cdot 40,5} = -5,8 \text{ \%х. р. о./}^\circ\text{C}$$

$$T_{I1} = 2,0 \cdot \tau_o = 2,0 \cdot 40,5 = 81 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПД- регулятора:

$$K_{P1} = \frac{1,2 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{1,2 \cdot 21,3}{-0,1 \cdot 40,5} = -6,3 \text{ \%х. р. о./}^\circ\text{C}$$

$$T_{I1} = 1,4 \cdot \tau_o = 1,4 \cdot 40,5 = 56,7 \text{ с}$$

$$T_{уП1} = (0,5 \dots 1) \cdot \tau_o = 1 \cdot 40,5 = 40,5 \text{ с}$$

Розрахуємо початкові наближення параметрів регуляторів температури в зоні нагрівання.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_{22}^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-46,5p}}{33,8p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_{P2} = \frac{1,1 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{1,1 \cdot 33,8}{0,15 \cdot 46,5} = 5,3 \text{ \%х. р. о. / } ^\circ\text{C}$$

$$T_{I32} = 2,0 \cdot \tau_o = 2,0 \cdot 46,5 = 93 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПД- регулятора:

$$K_{P2} = \frac{1,2 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{1,2 \cdot 33,8}{0,15 \cdot 46,5} = 5,8 \text{ \%х. р. о. / } ^\circ\text{C}$$

$$T_{I32} = 1,4 \cdot \tau_o = 1,4 \cdot 46,5 = 65,1 \text{ с}$$

$$T_{y\Pi2} = (0,5 \dots 1) \cdot \tau_o = 1 \cdot 46,5 = 46,5 \text{ с}$$

Для оптимального параметричного синтезу САР темперування шоколадної глазурі з ПІ-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.4. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів наведені на рис. 3.5.

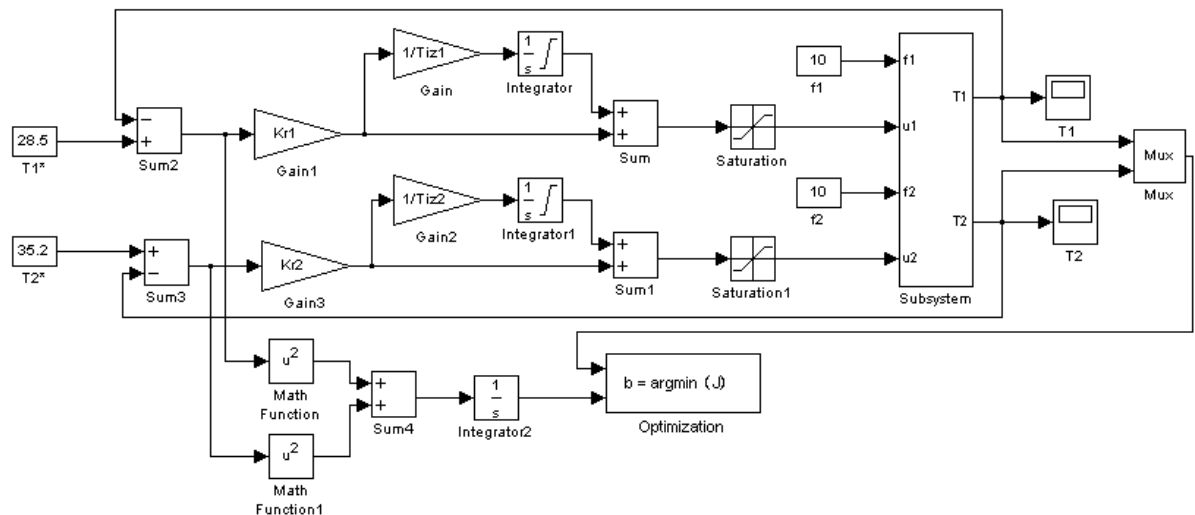
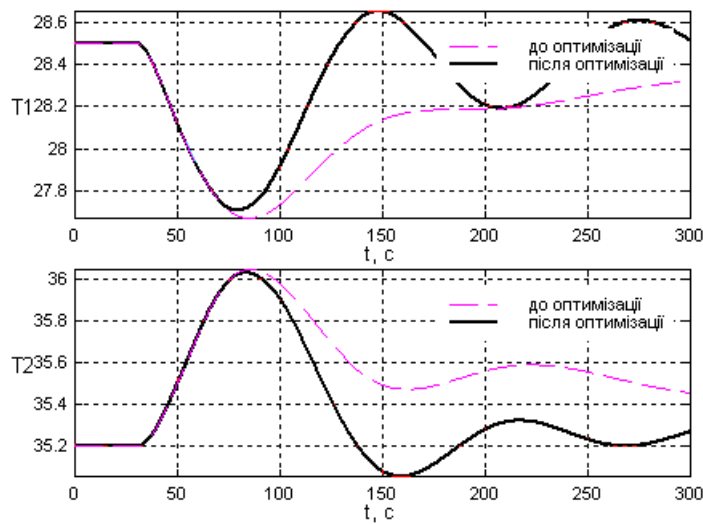


Рис. 3.4 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	-11.4734	-20	-5.8	20	до - 111.4046
Tiz1	66.7374	1	81	500	після - 64.2887
Kr2	7.9246	0	5.3	20	до оптимізації.
Tiz2	43.488	1	93	500	Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 278

Рис. 3.5 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Порівнюємо перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результатів порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІ-регуляторами	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_1^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп1}}, \text{c}$	$\Delta T_2^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп2}}, \text{c}$	
до оптимізації	0,83	217,8	0,85	275,44	111,4
після оптимізації	0,79	229,7	0,83	120,9	64,3

Для оптимального параметричного синтезу САР темперування шоколадної глазури з ПІД-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.6. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів наведені на рисунку 3.7.

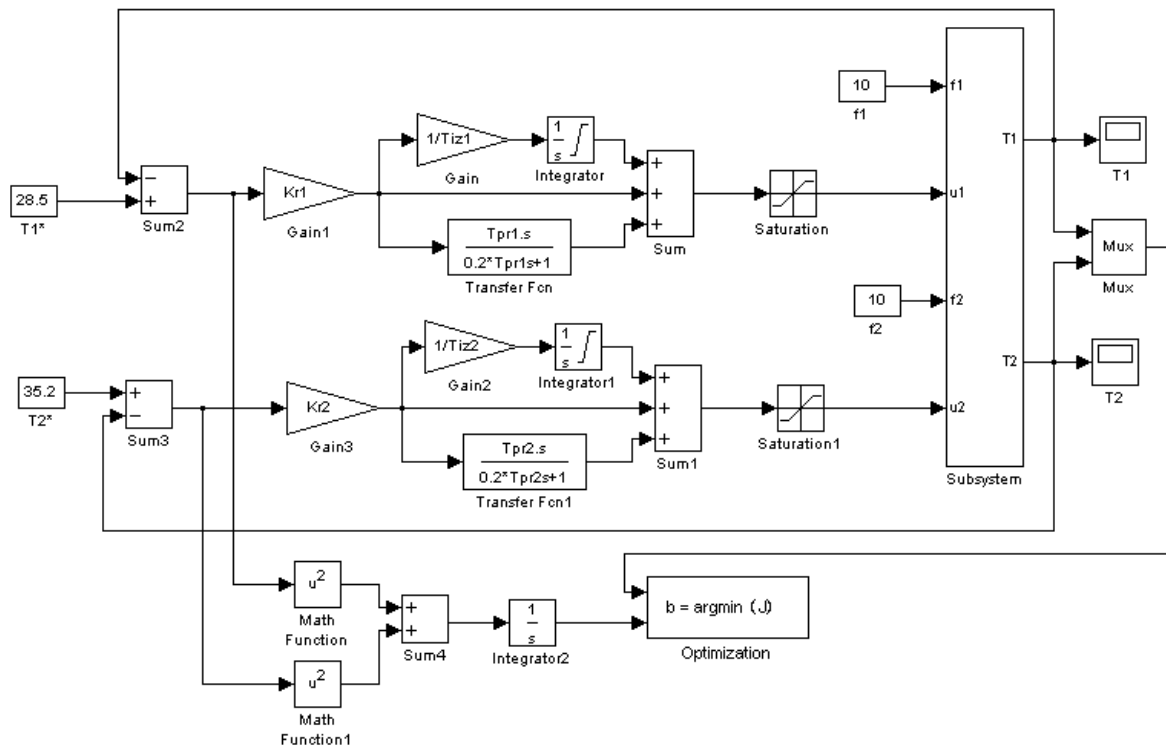
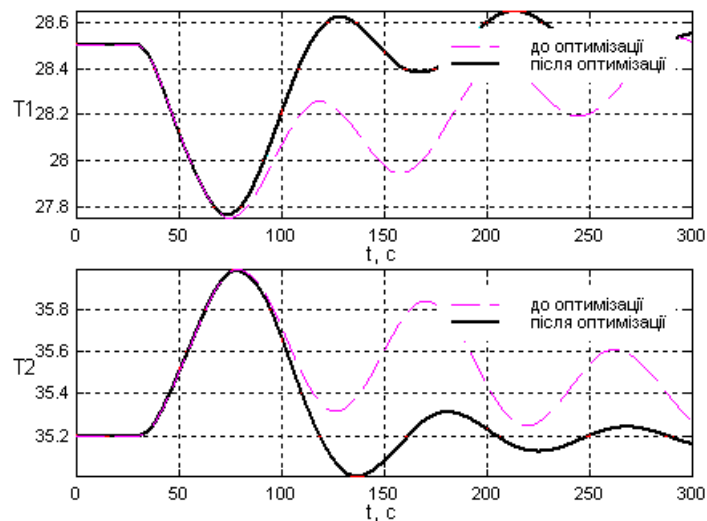


Рис. 3.6 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	-10.1603	-20	-6.3	0	до - 84.0683
Tiz1	31.2385	1	56.7	500	після - 43.8551
Tpr1	19.7132	0	40.5	100	оптимізації.
Kr2	8.7781	0	5.8	20	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	29.6438	1	65.1	500	максимальна - 1000
Tpr2	19.2776	0	46.5	100	фактична - 683

Рис. 3.7 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІД-регуляторами до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведемо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати порівняння САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІД-регуляторами	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_1^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ПП1}}, \text{с}$	$\Delta T_2^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ПП2}}, \text{с}$	
до оптимізації	0,75	248,8	0,79	279,3	84,1
після оптимізації	0,74	99,54	0,78	106	43,9

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- та ПІД-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.8. При цьому структурна схема моделювання САР з ПІ-регуляторами наведена на рис. 3.9, а САР з ПІД-регуляторами - на рис. 3.10. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.11 і в таблиці 3.5.

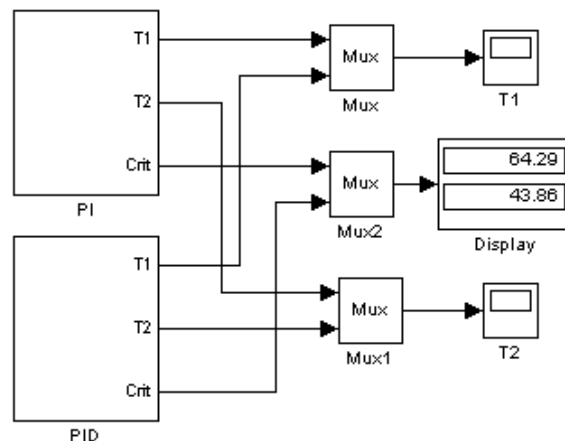


Рис. 3.8– Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

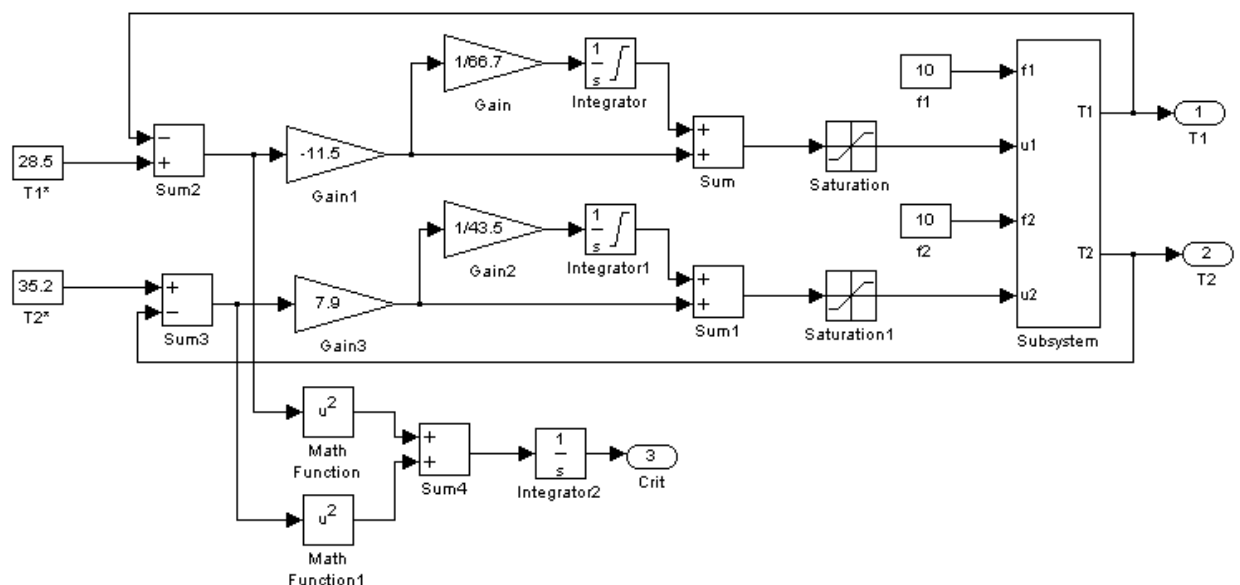


Рис. 3.9 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регуляторами

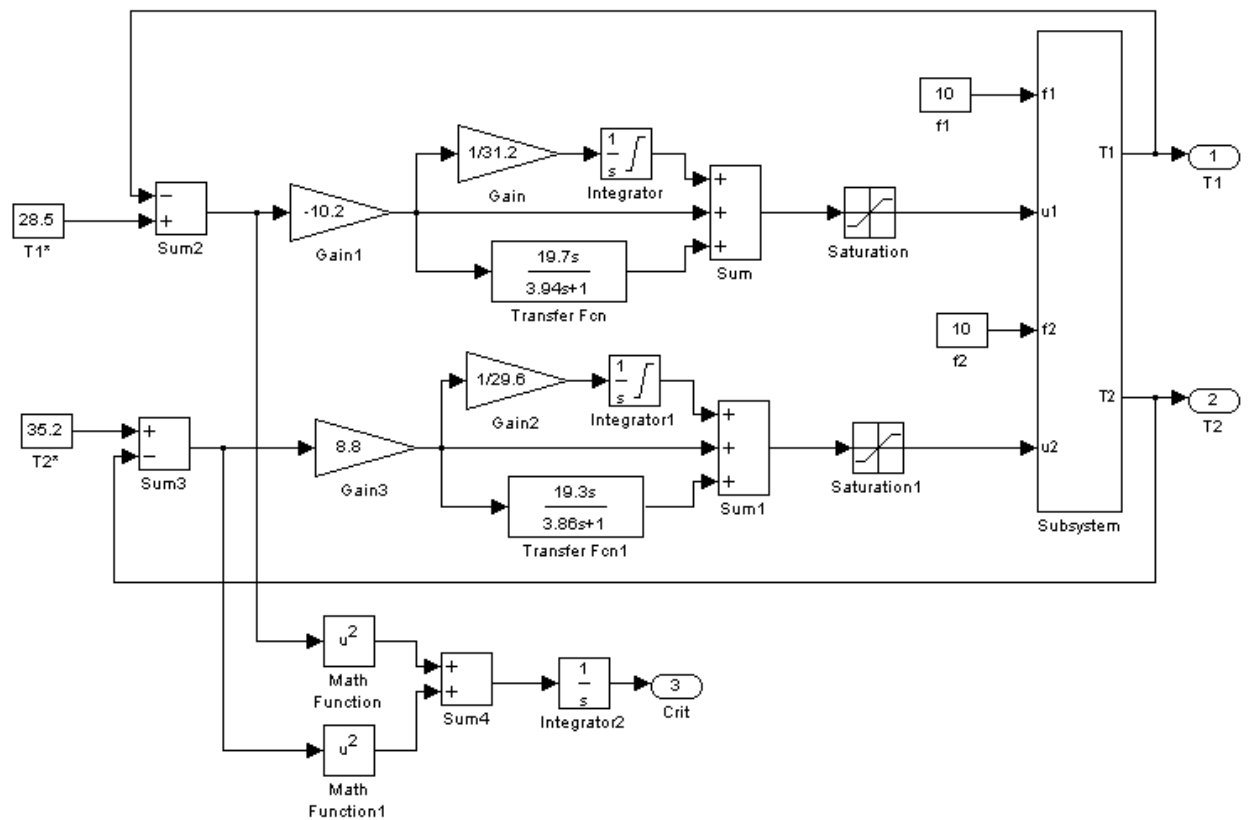


Рис. 3.10 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регуляторами

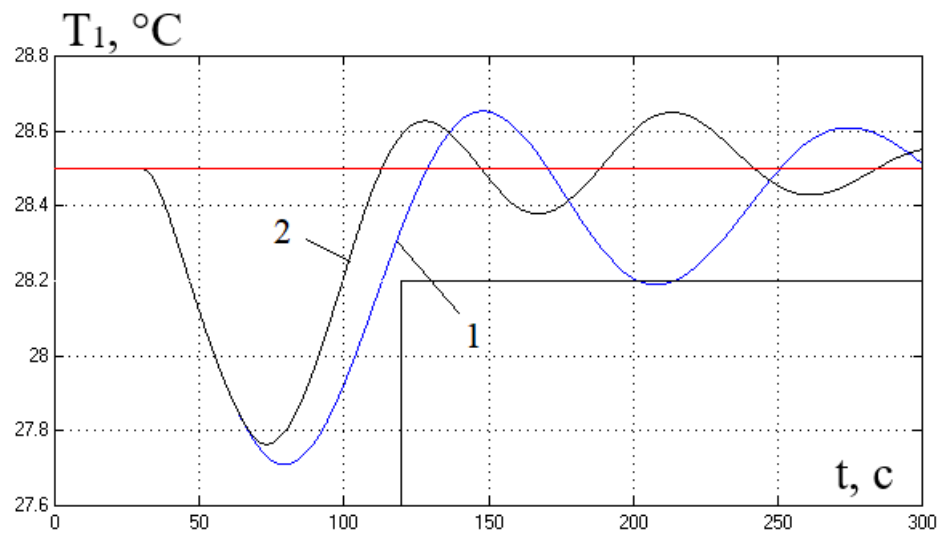


Рис. 3.11 – Результати порівняння варіантів САР: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

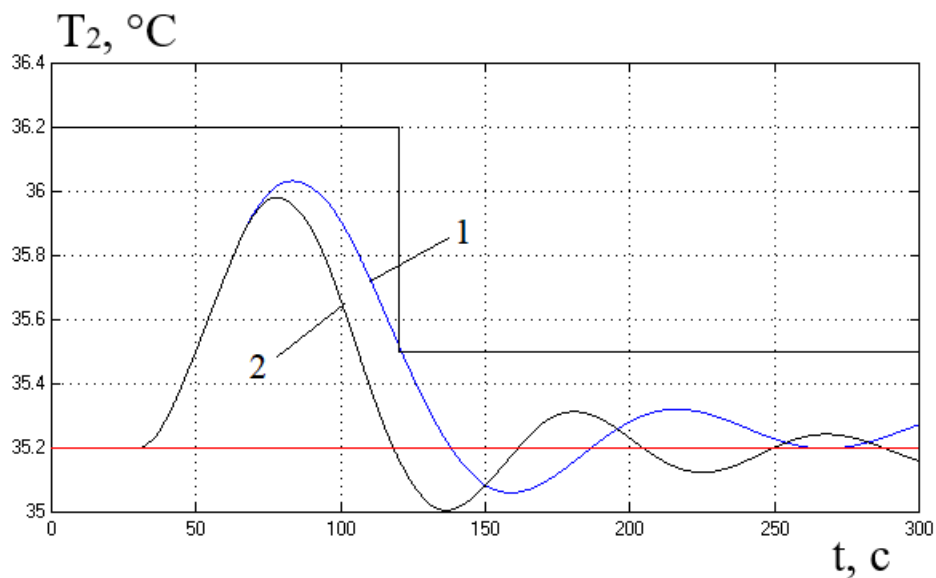


Рис. 3.11 (закінчення) – Результати сравнення варіантів САР: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

Таблиця 3.5 – Результати порівняння варіантів САР

САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_1^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ПП1}}, \text{c}$	$\Delta T_2^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ПП2}}, \text{c}$	
з ПІ-регуляторами	0,79	229,7	0,83	120,9	64,3
з ПІД-регуляторами	0,74	99,54	0,78	106	43,9

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів, САР з ПІД-регулятором є кращої за усіма показниками. Тому ПІД-закон регулювання будемо використовувати і надалі.

Проведемо аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК.

В процесі роботи темперуючої машини може змінюватися час запізнення в каналах ОК. Слід відзначити, що внаслідок нелінійності, параметри каналів можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на грубість слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень $10\% \text{х.р.о.}$ Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регуляторами на грубість наведені на рис. 3.12 і 3.13.

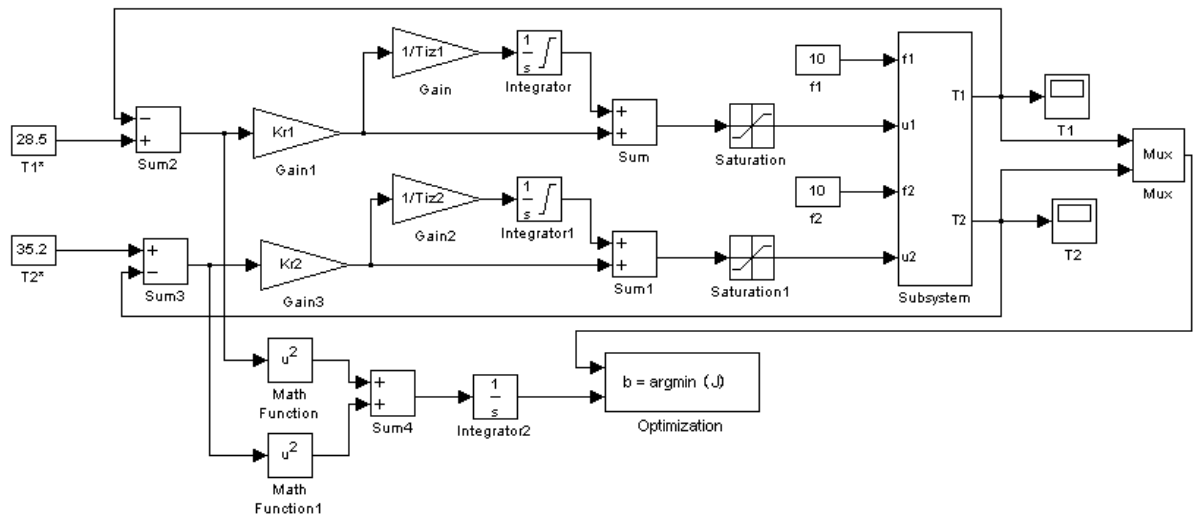


Рис. 3.12 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІ-регуляторами на грубість

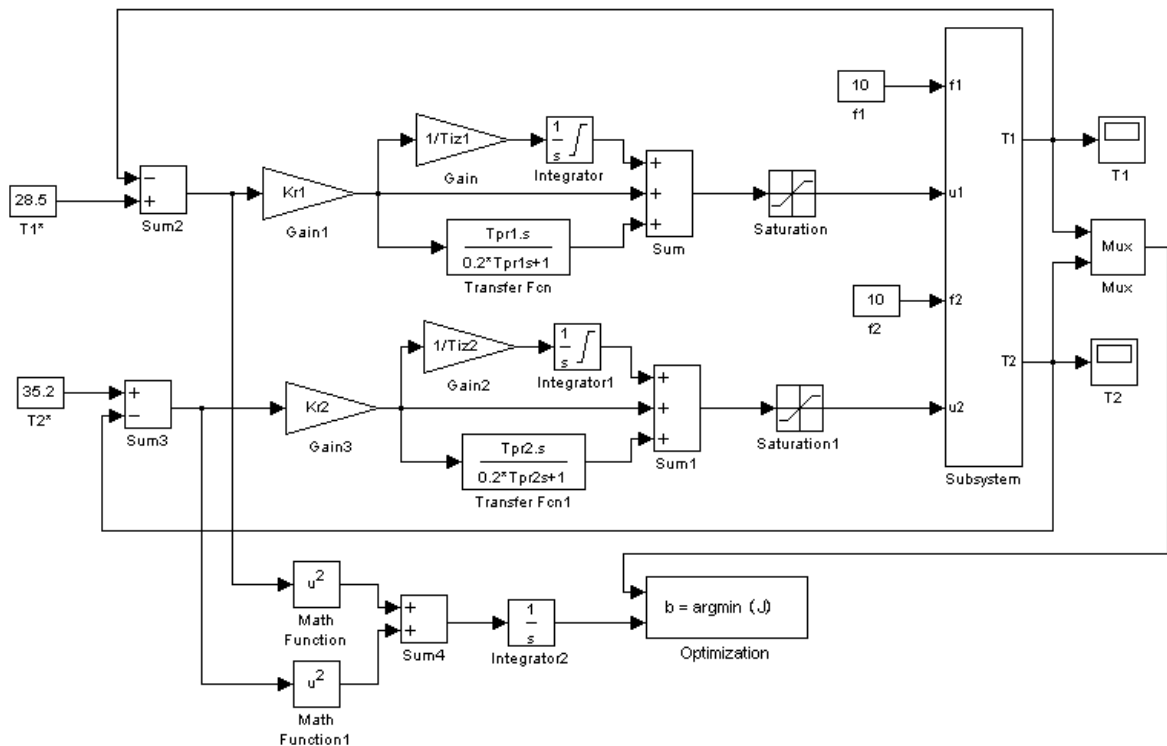


Рис. 3.13 – Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІД-регуляторами на грубість

Результати оцінки САР з ПІ-регуляторами на грубість наведені на рис. 3.14, а САР з ПІД-регуляторами – на рис. 3.15. Як видно з результатів, САР і з ПІ-регуляторами, і з ПІД-регуляторами є грубими, оскільки в умовах варіації параметрів ОК дає перехідні процеси, що сходяться.

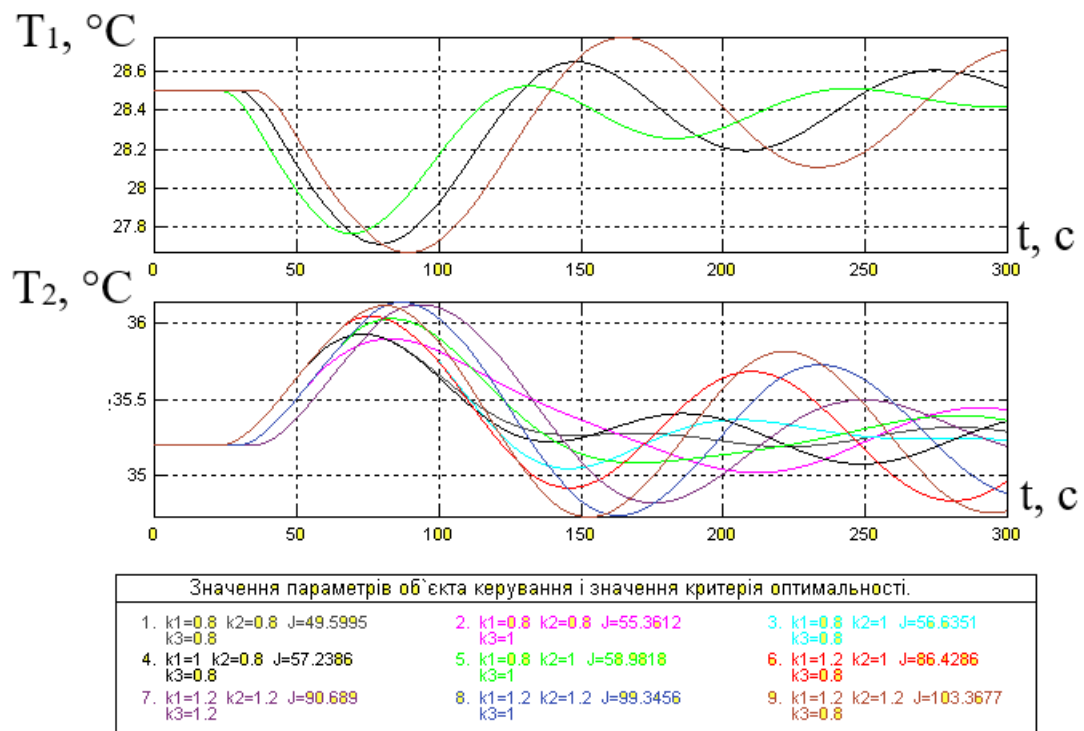


Рис. 3.14 – Аналіз на грубість САР з ПІ-регуляторами

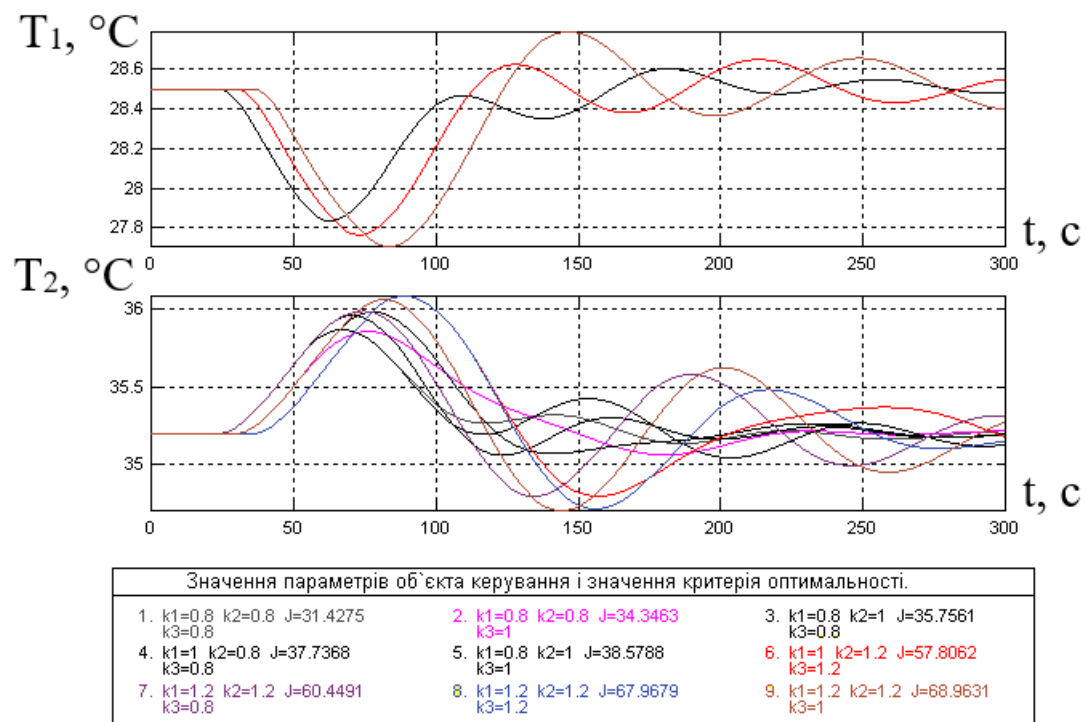


Рис. 3.15 – Аналіз на грубість САР з ПІД-регуляторами

Як видно з результатів оцінки САР з ПІ-регуляторами на грубість, "найсприятливішим" для керування сполученням параметрів ОК є менші на 20% від номінальних часи запізнення ОК за всіма каналами, а "найнесприятливішим" для керування сполученням - на 20% більші від

номінальних часи запізнення за першим прямим і перехресним каналами ОК, та час запізнення, на 20% менший від номінального, для другого прямого каналу ОК.

Як видно з результатів оцінки САР з ПІД-регуляторами на грубість, "найсприятливішим" для керування сполученням параметрів ОК є менші на 20% від номінальних часи запізнення ОК за всіма каналами, а "найнесприятливішим" для керування сполученням - на 20% більші від номінальних часи запізнення за першим прямим і перехресним каналами ОК, та номінальний час запізнення для другого прямого каналу ОК.

3.3 Синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивна зміна завдання САР, а також внутрішні особливості ОУ і САР (значне співвідношення τ_o / T_o , взаємний вплив каналів в багатовимірної САР).

У нашому випадку основною причиною недостатньої динамічної точності САР температури нагрівання шоколадної маси T_2 є шкідливий вплив контуру регулювання температури охолодження T_1 . Основним шляхом підвищення динамічної точності саме розглянутої САР є побудова САР, що забезпечує автономність контуру регулювання T_2 .

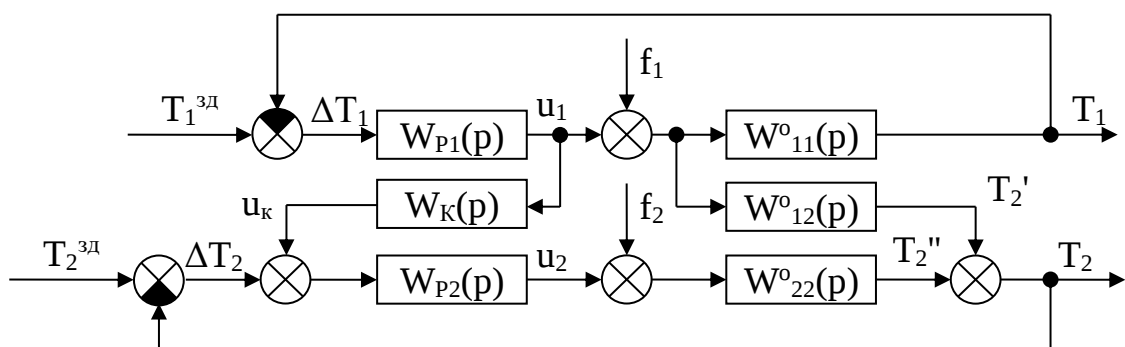


Рис. 3.20 – Структурна схема САР підвищеної динамічної точності

На схемі:

T_1, T_2 – поточні значення регульованих координат, °C;

$T_1^{3ДН}, T_2^{3ДН}$ – задані значення регульованих координат, °C;

$\Delta T_1, \Delta T_2$ – помилки регулювання, °C;

u_1, u_2 – керуючі дії, %х.р.о.;

f_1, f_2 – неконтрольовані збурення;

$WP_1(p), WP_2(p)$ – передаточні функції регуляторів.

Необхідною умовою реалізації САР є фізична можливість організації додаткового каналу впливу, що забезпечує автономність, а для розглянутої САР така можливість є. Достатньою умовою реалізації САР є фізична реалізація передаточної функції коригуючого зв'язку.

Виведення передаточної функції коригуючого зв'язку, аналіз її структури з умов фізичної реалізованості, приведення до фізично реалізованого виду, представлення у формі з'єднання типових динамічних ланок і отримання її перехідних характеристик

$$T_2' + T_2'' = T_2 = 0$$

$$\begin{aligned} T_2' &= u_1 \cdot W_{12}^0(p); \quad T_2'' = u_1 \cdot W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p) \\ u_1 \cdot W_{12}^0(p) + u_1 \cdot W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p) &= 0 \\ u_1 \cdot W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p) &= -u_1 \cdot W_{12}^0(p) \end{aligned}$$

$$W_K(p) = -\frac{W_{12}^0(p)}{W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p)}$$

$$W_{12}^0(p) = \frac{-0,08 \cdot e^{-88,5p}}{36,3p+1}; \quad W_{22}^0(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-46,5p}}{33,8p+1}$$

$$\begin{aligned} W_{P2}(p) &= 8,8 \cdot \left(1 + \frac{1}{29,6p} + 19,3p\right) = 8,8 \cdot \frac{29,6 \cdot 19,3 \cdot p^2 + 29,6p + 1}{29,6p} = \\ &= 8,8 \cdot \frac{571,3p^2 + 29,6p + 1}{29,6p} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_K(p) &= -\frac{W_{12}^O(p)}{W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p)} = -\frac{\frac{-0,08 \cdot e^{-88,5p}}{36,3p + 1}}{8,8 \cdot \frac{571,3p^2 + 29,6p + 1}{29,6p} \cdot \frac{0,15 \cdot e^{-46,5p}}{33,8p + 1}} \\
&= -\frac{-0,08}{8,8 \cdot 0,15} \cdot \frac{e^{-88,5p}}{e^{-46,5p}} \cdot \frac{29,6p \cdot (33,8p + 1)}{(36,3p + 1) \cdot (571,3p^2 + 29,6p + 1)} = \\
&= 0,06 \cdot e^{-88,5p - (-46,5p)} \cdot \frac{29,6p \cdot (33,8p + 1)}{(36,3p + 1) \cdot (571,3p^2 + 29,6p + 1)} = \\
&= 0,06 \cdot e^{-42p} \cdot \frac{29,6p \cdot (33,8p + 1)}{(36,3p + 1) \cdot (571,3p^2 + 29,6p + 1)} \\
&= 0,06 \cdot e^{-42p} \cdot \frac{29,6p}{36,3p + 1} \cdot \frac{33,8p + 1}{571,3p^2 + 29,6p + 1}
\end{aligned}$$

Структурна схема моделювання коригуючого зв'язку наведена на рис. 3.21, а перехідна характеристика – на рис. 3.22.

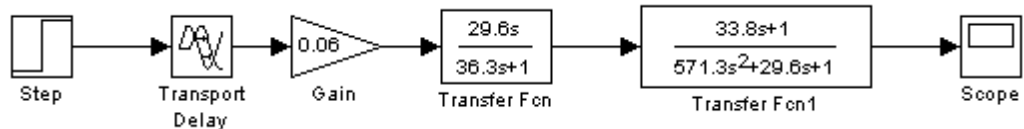


Рис. 3.21 – Структурна схема моделювання коригуючого зв'язку

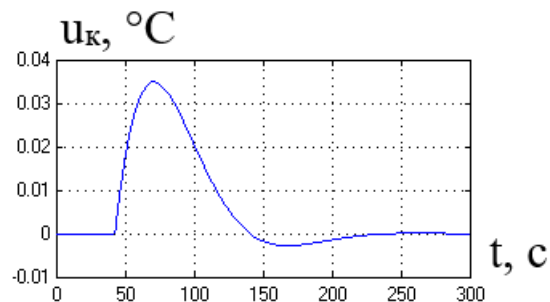


Рис. 3.22 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку

Спрощення коригуючих зв'язків з урахуванням особливостей їх технічної реалізації і параметричний синтез САР

$$W_K(p) = 0,06 \cdot e^{-42p} \cdot \frac{29,6p}{36,3p + 1} \cdot \frac{33,8p + 1}{571,3p^2 + 29,6p + 1}$$

Як видно з перехідної характеристики, коригуючий зв'язок має диференціюючі властивості. Як видно з передаточної функції коригуючого зв'язку, в поліноміальній частині коригуючого зв'язку порядок чисельника на один менший від порядку знаменника. Тому передаточну функцію коригуючого зв'язку доцільно зменшити до наступного вигляду:

$$W_K(p) = K_K \cdot e^{-T_{K1}p} \cdot \frac{T_{K2}p}{T_{K2}p + 1} \cdot \frac{1}{T_{K2}p + 1}$$

$$W_K(p) = K_K \cdot e^{-T_{K1}p} \cdot \frac{T_{K2}p}{T_{K2}^2 p^2 + 2T_{K2}\vartheta p + 1}$$

Початкові наближення параметрів коригуючого зв'язку:

$K_K = 0,06$; $T_{K1} = 42$ с; $T_{K2} = 29,6$ с; $\xi = 0,5$.

Для уточнення параметрів коригуючого зв'язку проведемо підбір цих параметрів з використанням схеми моделювання, наведеної на рис. 3.23.

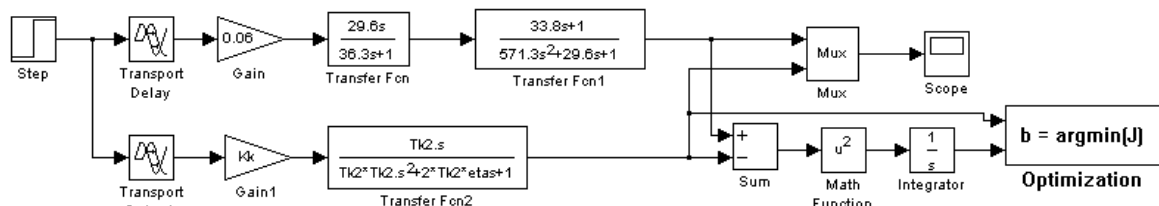
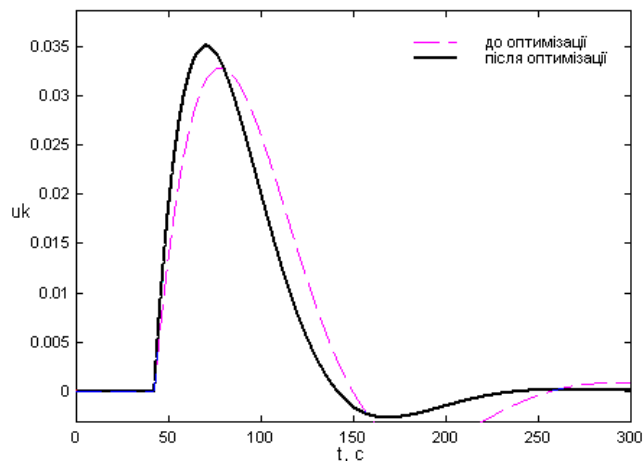


Рис. 3.23 – Структурна схема моделювання для уточнення параметрів спрощеного коригуючого зв'язку

Результати уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку наведені на рис. 3.24.



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk	0.07232	0	0.06	10	до - 0.0030012
Tk1	42.1309	0	42	100	після - 2.7564e-006
Tk2	24.3686	1	29.6	500	оптимізації.
eta	0.63553	0	0.5	2	Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1500
					фактична - 128

Рис. 3.24 – Результати уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку

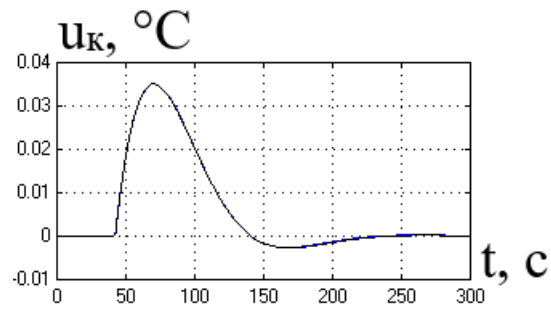


Рис. 3.24 (закінчення) – Результати уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку приведена на рис. 3.25, а результати оптимізації - на рис. 3.26.

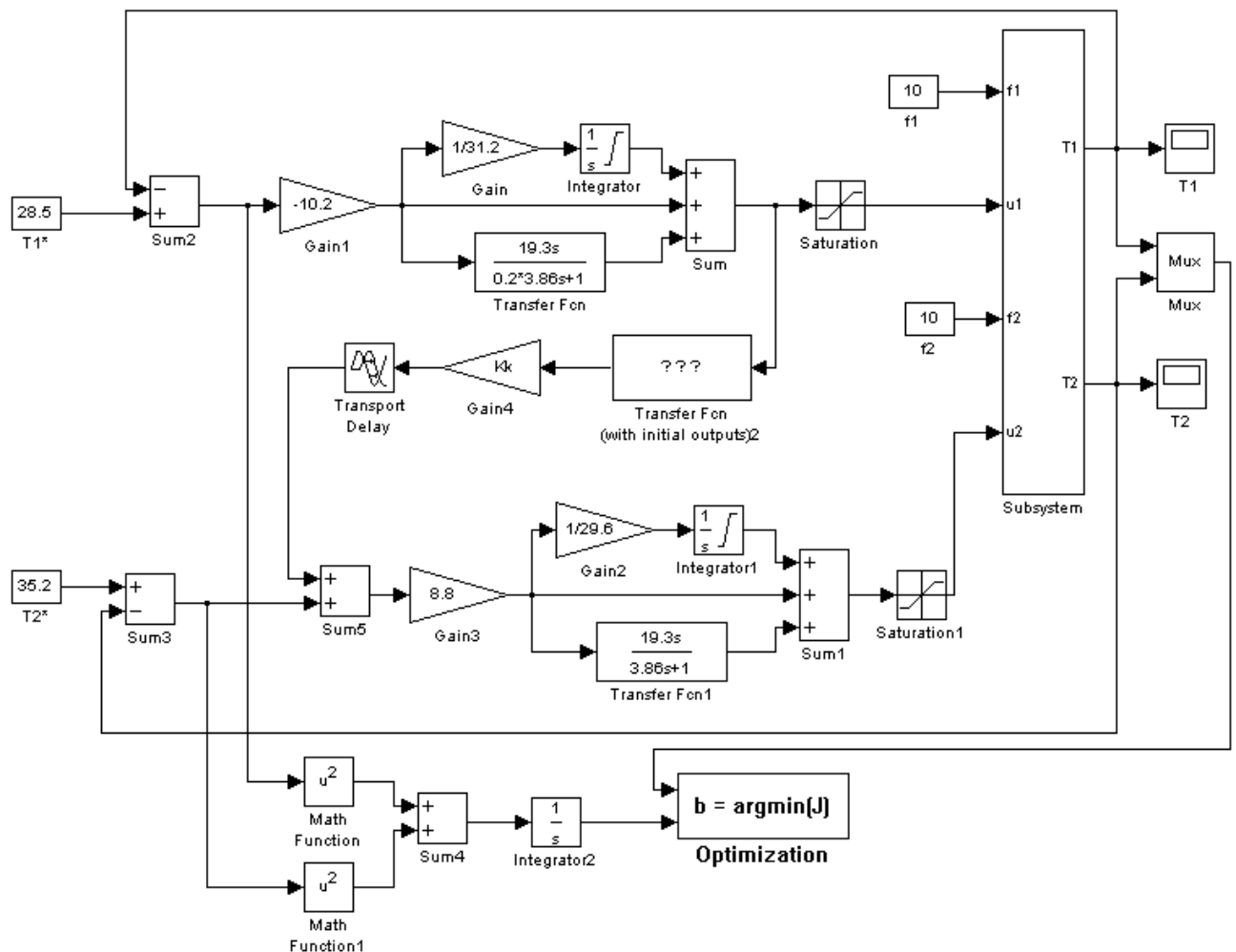
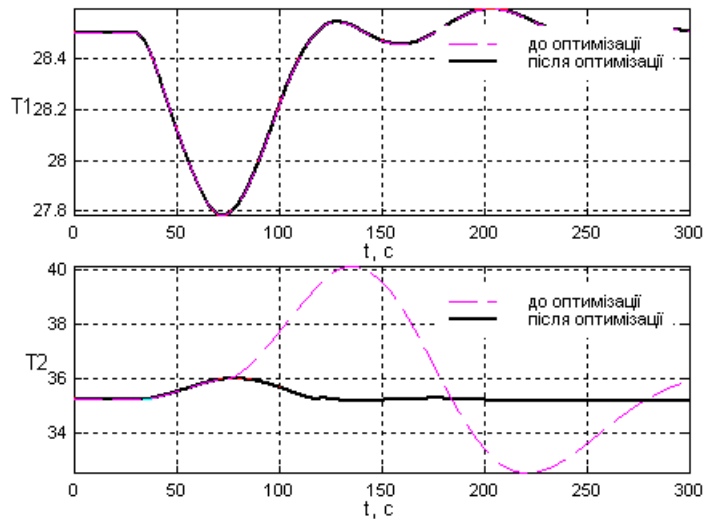


Рис. 3.25 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk	0.024517	-10	0.06	10	до - 1560.0092
Tk1	85.5554	0	42	100	після - 41.0274
Tk2	1.2894	1	29.6	500	оптимізації.
eta	0.83866	0	0.5	2	Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1500
					фактична - 437

Рис. 3.26 – Результати оптимізації параметрів коригуючого зв'язку

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 $\pm 20\%$.

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведено на рис. 3.27. Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОК САР дає перехідні процеси, що сходяться, а значить, САР є грубою.

«Найсприятливішою» для керування є варіація параметрів ОК, яка за результатами моделювання дає найменше значення інтегрального критерію якості роботи САР. Це, згідно рис. 3.27, варіація з часами запізнення на 20% меншими від номінальних. «Найнесприятливішою» для керування вважається варіація параметрів ОК, яка за результатами моделювання дає найбільше значення інтегрального критерію якості. Це варіація з часами запізнення на 20% більшими від номінальних.

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК,

"сприятливими" і "несприятливими" для керування наведена на рис. 3.28. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.29 і зведені в таблицю 3.8.

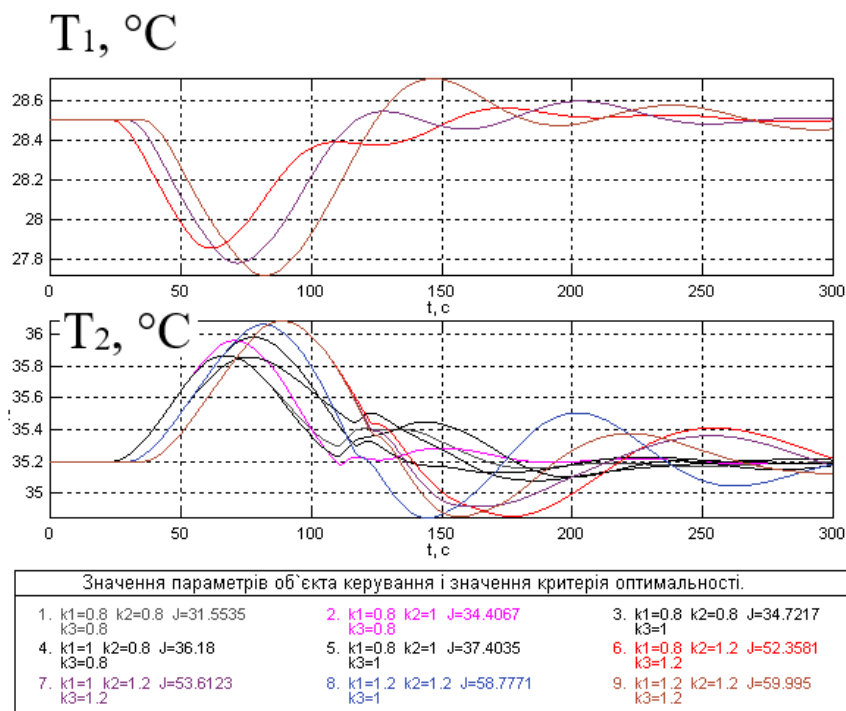


Рис. 3.27 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК

3.4 Порівняльний аналіз перехідних процесів у параметрично оптимальних САР базової структури та підвищеної динамічної точності

Для порівняння якості роботи САР базової структури та підвищеної динамічної точності розроблена структурна схема моделювання, наведена на рис. 3.30. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.31 і зведені в таблицю 3.9.

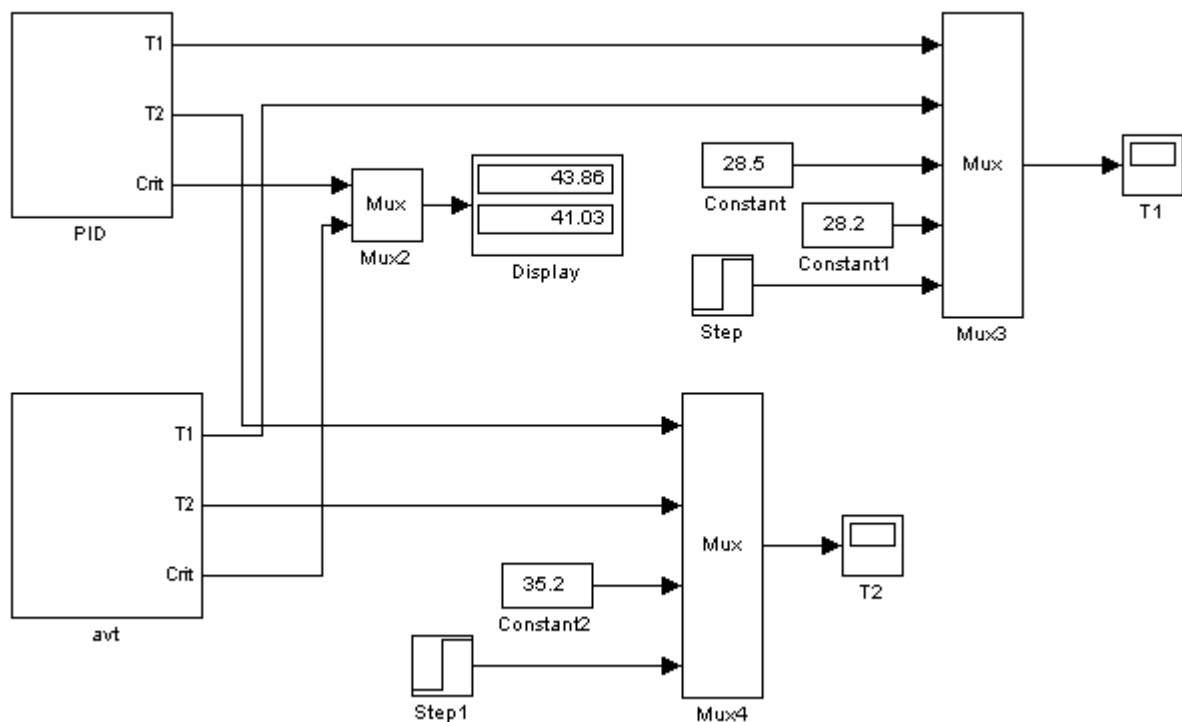


Рис. 3.30 – Схема моделювання для порівнянні параметрично оптимальних CAP

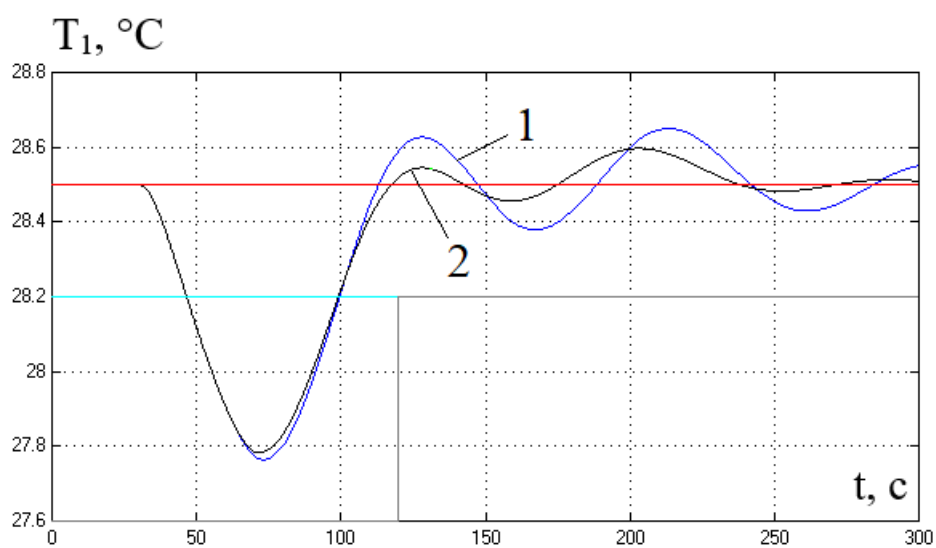


Рис. 3.31 – Результати порівняння параметрично оптимальних CAP базової структури (1) і підвищеної динамічної точності (2)

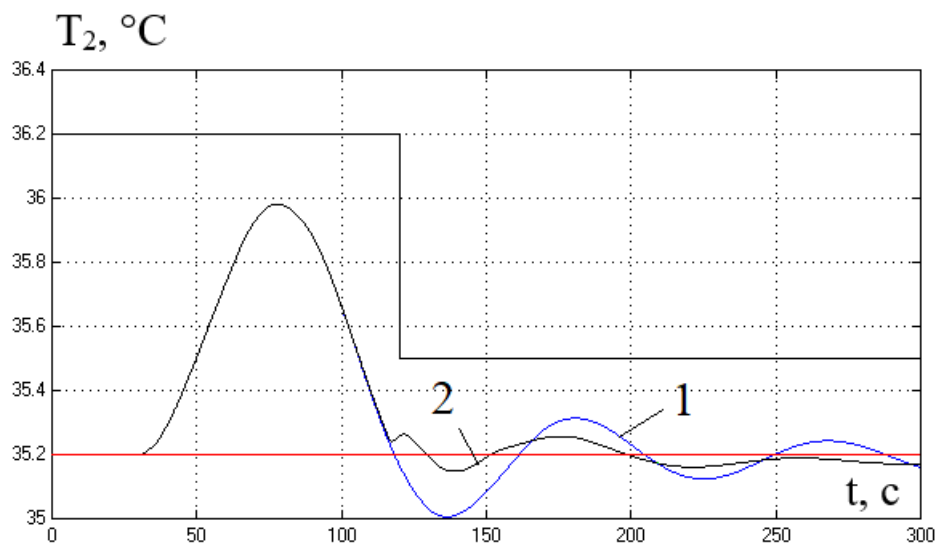


Рис. 3.31 (закінчення) – Результати порівняння параметрично оптимальних САР базової структури (1) і підвищеної динамічної точності (2)

Таблиця 3.9 – Результати порівняння варіантів параметрично оптимальних САР

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_1^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп}1}, \text{c}$	$\Delta T_2^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп}2}, \text{c}$	
Базової структури	0,74	99	0,78	105,8	43,86
Автономної структури	0,72	99	0,78	106	41,03

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів параметрично оптимальних САР з ПІД-регулятором та підвищеної динамічної точності показує, що за критерієм кращою є САР автономної структури, покращення склало 6,5%. Відчутного покращення якості регулювання за прямими показниками не спостерігається.

3.5 Висновки за розділом

САР з ПІД-регуляторами в перехідних режимах задовольняє гранично припустимим вимогам, а САР з ПІ-регулятором не задовольняє цим вимогам за часом перехідного процесу.

Після проведення процедури оптимізації параметрів ПІ-регуляторів коефіцієнт передачі K_{r1} зменшився на 98%, час ізодрому T_{iz1} зменшився на 67%, коефіцієнт передачі K_{r2} збільшився на 49%, час ізодрому T_{iz2} зменшився

на 54%, інтегральний критерій зменшився на 42%, максимальне динамічне відхилення за T_1 зменшилося на 5%, час перехідного процесу за цим параметром збільшився на 5,5%, максимальне динамічне відхилення за T_2 зменшилося на 2%, час перехідного процесу за цим параметром зменшився на 56%.

Після проведення процедури оптимізації параметрів ПД-регуляторів коефіцієнт передачі $Kr1$ зменшився на 62%, час ізодрому $Tiz1$ зменшився на 46%, час упередження $Trp1$ зменшився на 51%, коефіцієнт передачі $Kr2$ збільшився на 33%, час ізодрому $Tiz2$ зменшився на 54%, час упередження $Trp2$ зменшився на 60%, інтегральний критерій зменшився на 48%, максимальне динамічне відхилення за T_1 зменшилося на 1,3%, час перехідного процесу за цим параметром збільшився на 60%, максимальне динамічне відхилення за T_2 зменшилося на 1,2%, час перехідного процесу за цим параметром зменшився на 62%.

Введення до алгоритму регулювання Д-складової призводить до зменшення інтегрального критерію на 31%, зменшення максимального динамічного відхилення за T_1 на 6%, зменшення часу перехідного процесу за цим параметром 57%, зменшення максимального динамічного відхилення за T_2 на 6%, зменшення часу перехідного процесу за цим параметром 17%.

І САР з ПІ-регулятором, і САР з ПД-регулятором є грубими.

Як вже було зазначено вище, в результаті параметричної оптимізації параметри регуляторів змінилися досить суттєво, але і налаштування регуляторів, отримані за інженерними методиками, дають нам стійкі перехідні процеси в САР. Тому можна зробити висновок, що інженерні методики розрахунку параметрів регулятора на практиці можуть застосовуватися, хоча існує значний запас підвищення динамічної точності САР.

З усього вище сказаного можна зробити висновок, що за усіма показниками якості САР з ПД-регуляторами є кращою, ніж САР з ПІ-регуляторами. Тому в подальших дослідженнях в якості базового алгоритму регулювання будемо застосовувати ПД-закон регулювання.

САР підвищеної динамічної точності побудована на принципом забезпечення автономності контуру регулювання температури підігрівання шоколадної маси T_2 від контуру регулювання температури охолодження T_1 .

САР автономної структури є грубою, тому що в умовах 20%-ї варіації параметрів ОК ці САР дають перехідні процеси, що сходяться.

У порівнянні з САР базової структури з ПД-регуляторами САР автономної структури майже не дає покращення за прямими показниками якості перехідних процесів. За критерієм оптимальності САР автономної структури дає покращення на 6,5%.

4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом

4.1 Розробка алгоритмів автоматичного управління нормальним пуском та зупинкою установки

Суть технологічного процесу темперування шоколадної глазурі у доведенні зкупажованої сирої маси до стану готового продукту у установці турботемпер. Технологічна схема процесу темперування шоколадної глазурі для вирішення задачі логічного керування приведена на рисунку 4.1.

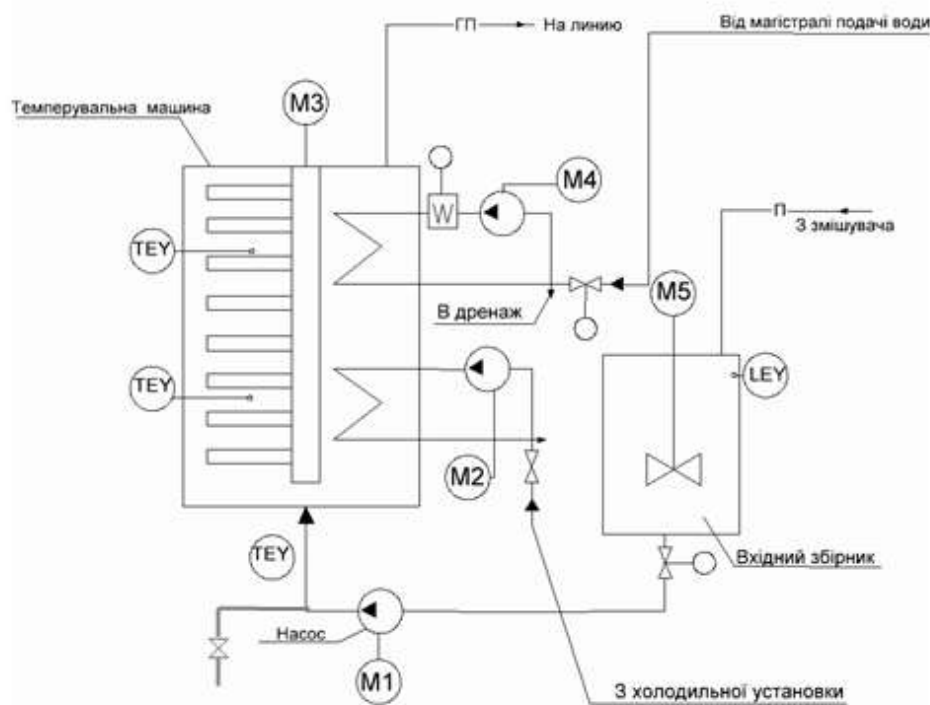


Рис. 4.1 – Технологічна схема процесу темперування шоколадної глазурі для вирішення задачі логічного керування

Пуск установки установки в роботу здійснюється наступним чином, після перевірки умов та передпускової звукової сигналізації потрібно заповнити установку продуктом, забезпечити перемішування. Надалі слід забезпечити циклювання води в системі, забезпечити підігрівання води в секції підігрівання та вивести установку на режим за температурами. Блок схема

регламенту на пуск установки приведено на рис. 4.2 .



Рис. 4.2 – Блок-схема регламент на пуск технологічного циклу процесу темперування шоколадної глазури

Нормальна зупинка установки розпочинається з того, що потрібно припинити подачу продукту в установку та подати в установку стиснене повітря. На далі слід витіснити продукт з установки, припинити нагрівання глазури в зоні підігрівання та циркуляцію води в установці. На завершення зупинки слід припинити подачу стислого повітря в установку. Блок схема регламенту на нормальну зупинку приведена на рис. 4.3.



Рис. 4.3 – Блок-схема регламент на стоп технологічного циклу процесу темперування шоколадної глазури

4.2 Розробка алгоритму автоматичного керування технологічним циклом процесу темперування шоколадної глазури

Автоматичний пуск установки здійснюються так. Перевірка умов необхідних для пуску зводиться до перевірки наявності робочого рівню глазури та тиску води в системі. Передпускова звукова сигналізація зволиться до вмикання звукового сигналізатора на 10 сек. Подача продукту в установку здійснюється увімкненням насосу М1 з витримкою часу. Перемішування забезпечується увімкненням мішалки М3.

Циркуляція води в системі забезпечується ввімкненням насосів М2 та М4, а нагрівання глазури – ввімкненням тенів. Під виведенням установки на режим будемо розуміти включення контурів регулювання температур Т1 та Т2. Блок схема алгоритму автоматичного керування пуску установки наведена на

рисунку 4.4.

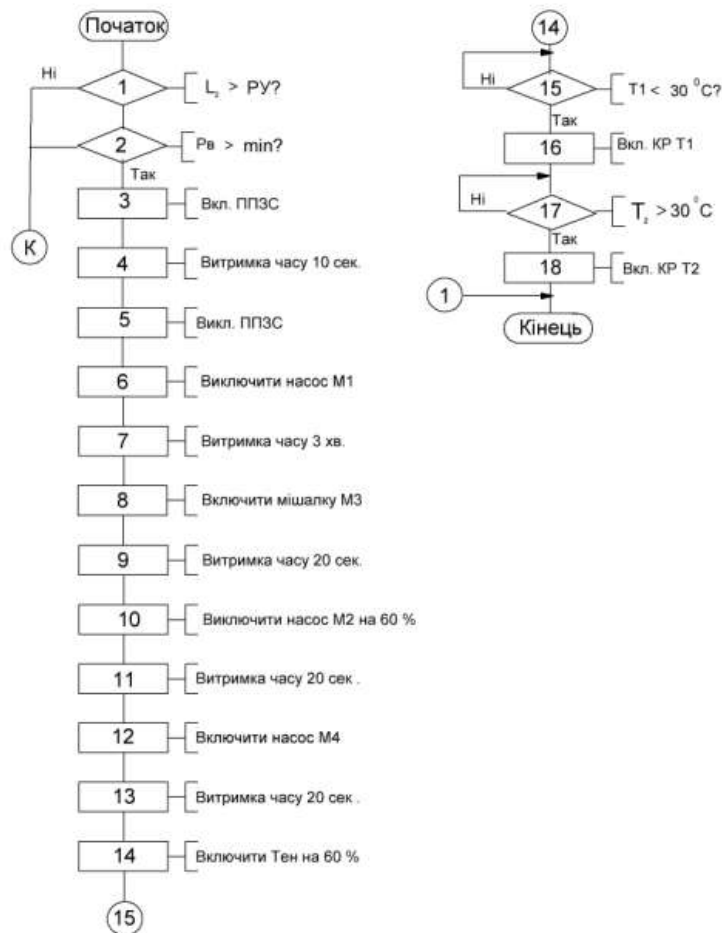


Рис. 4.4 – Блок-схема алгоритму логічного пуску автоматичного керування процесом темперування шоколадної глазурі

Нормальна зупинка установки розпочинається з виключення насосу М1 та відкриття клапану Кл для витіснення продукту стисненим повітрям . Витіснення продукту з установки, забезпечується витримкою часу 5 хв. після чого слід вимкнути мішалку для припинення нагрівання та охолодження продукту слід вимкнути контуру регулювання, вимкнути тени а також насоси М2 та М4. Для припинення подачі стисненого повітря в установку слід закрити клапан Кл. Блок схема алгоритму нормальної зупинки установки наведена на рисунку 4.5.

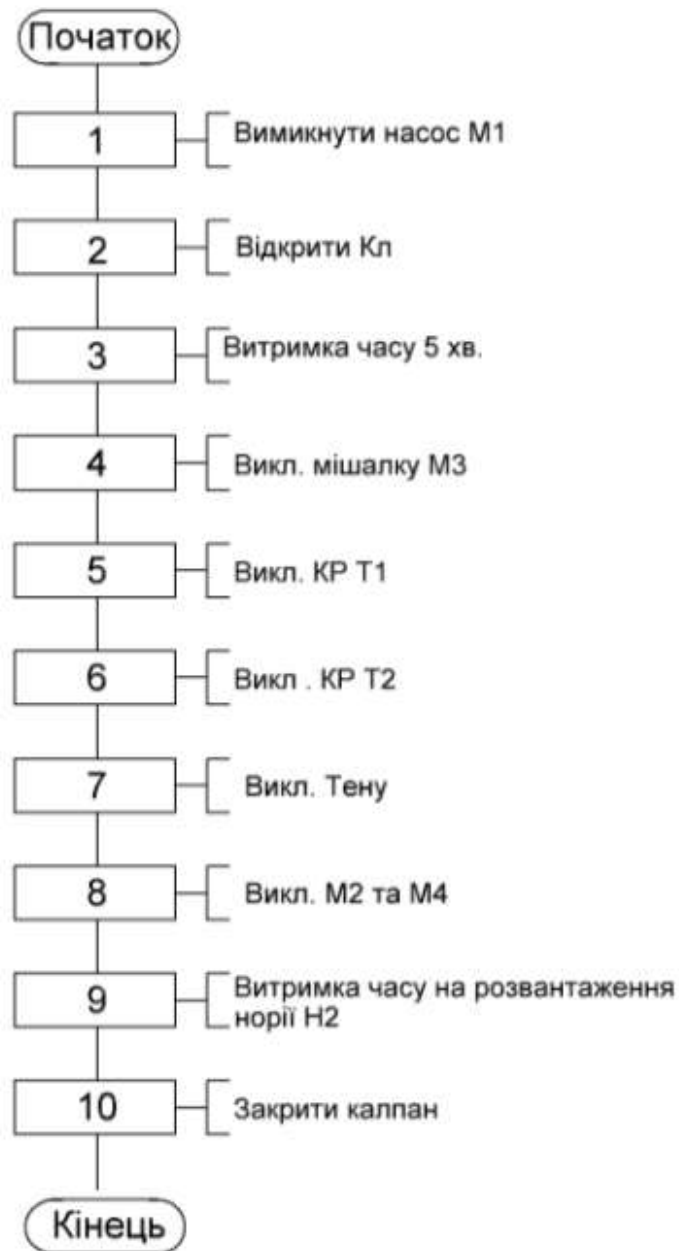


Рис. 4.5 – Блок-схема алгоритму логічного стопу автоматичного керування процесом темперування шоколадної глазури

4.3 Висновки за розділом

В ході розробки алгоритмів логічного керування для темперування шоколадної глазури в турботемпермашині було складено регламент функціонування та алгоритм автоматичного керування циклом роботи темпермашини, розроблена функціональна логічна схема.

5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні 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 і місць їх розміщення

Темперуюча машина розміщується в опалювальному приміщенні цеху. Зважаючи на відсутність в технологічному процесі темперування шоколадної маси чинників, які можуть викликати вибух або пожежу, то ділянку темперування не можна віднести до пожежо- та вибухонебезпечної.

Датчики, регулюючі органи та виконавчі механізми системи керування розміщуються безпосередньо на темперуючій машині та трубопроводах, по який подається сировина та енергоносії. Інше технічне обладнання та АРМ оператора-технолога знаходиться в окремому приміщенні, яке також не є пожежо- та вибухонебезпечним з температурою 18 - 25 °С та вологістю 60 - 80%.

«Правила улаштування електроустановок» щодо безпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

а) приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку;

б) приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю в них однієї з умов, що створює підвищену небезпеку:

- 1) вологості або струмопровідного пилу;
- 2) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);
- 3) високої температури;
- 4) 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;

в) особливо небезпечні приміщення, які характеризуються наявністю однієї з умов, що створює особливу небезпеку:

- 1) особливої вологості;
- 2) хімічно активного або органічного середовища;
- 3) одночасно двох або більше умов підвищеної небезпеки

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де розміщена темперуюча машина, слід віднести до приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

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

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

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де розміщена темперуюча машина, не можна віднести до вибухонебезпечних зон. Відповідно до зазначеного, на ділянці, де розміщена темперуюча машина, можна використовувати електричні машини, апарати та прилади без засобів вибухозахисту.

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

Пожежонебезпечна зона класу П-I — простір у приміщенні, у якому знаходиться горюча рідина, яка має температуру спалаху більше +61° С.

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

Пожежонебезпечна зона класу П-Па — простір у приміщенні, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

Пожежонебезпечна зона класу П-ПІІ — простір поза приміщенням, в якому знаходяться горюча рідина, яка має температуру спалахнення понад +61° С або тверді горючі речовини.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де розміщена темперуюча машина, не є пожежонебезпечною зоною.

Для обладнання темперуючої машини доцільно вибирати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP44.

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

Для вимірювання температури шоколадної маси застосований датчик температури Omnigrad T TST487 - термоперетворювач опору (Pt100) фірми Е+Н. З вбудованим нормуючим перетворювачем іTEMP TMT181 - аналоговий вихід 4-20 мА. Живлення 24В DC, ступінь захисту IP 68.



а)

Технічні характеристики:
Матеріал захисної трубки/термогільзи 1.4404 (316L)
Приєднання до процесу Внутрішнє різьблення: G1/2"
Форма наконечника датчика Пряма
робочий діапазон РТ 100:
-50 °С ...300 °С
Макс. робочий тиск (статичний) при 20 °С: 20 бар
Похибка Клас А за ІЕС 60751
Час відгуку t50 = 4 с
t90 = 8 с
Вбудований нормуючий перетворювач Так (4 ... 20 мА, HART, PROFIBUS PA, FOUNDATION FIELDBUS)

б)

Рис. 5.1 – Датчик температури Omnigrad T TST487:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики



а)

Технічні характеристики:
вихідний сигнал 4..20 мА;
напруга живлення 3..35 V DC

б)

Рис. 5.2 – Вбудований перетворювач температури (4/20 мА) iTEMP TMT181:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

Для вимірювання тиску води в трубопроводах застосоване реле тиску RT 200L.



а)

Технічні характеристики:
Діапазон тиску: 0.2 – 6 бар
Диференціал: 0.25 бар
Настроювана нейтральна зона: 0.25 - 0.7 бар
Приєднання: G 3/8"
Клас захисту: IP66

б)

Рис. 5.3 – Реле тиску RT 200L:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.3 Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

Для зміни витрат холодної води води використаємо регулюючий клапан Belimo R2050-40-S4 та виконавчий механізм Belimo LR24A-SR



Технічні характеристики:

Characterised control valve, 2-way, DN 50,
Internal thread, Rp 2", PN 25, ps 1600 kPa,
Kvs 40 m³/h, Fluid temperature -10...120°C
[14...248°F]

Рис. 5.4 – Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики клапану Belimo R2050-40-S4



Електричні параметри 24В	TR24-SR	LR24A-SR LR24A-MF
Напруга живлення	AC/DC 24 В	
Частота напруги живлення	50/60 Гц	
Діапазон напруги живлення	AC/DC 19,2...28,8 В	
Споживана потужність під час руху	0,5 Вт	1,5 Вт
Споживана потужність при утриманні	0,4 Вт	0,4 Вт
Розрахункова потужність	1 ВА	3 ВА
Функціональні данні		
Електричне підключення	Кабель 1 м, 3 x 0,75 мм ² Кабель 1 м	
Керування		
Керуючий сигнал Y	0 ... 10 В DC, вхідний опір 100 кОм	
Робочий діапазон	2 ... 10 В DC	
Напруга зворотнього зв'язку U	2 ... 10 В DC, макс. 1 мА	
Точність позиціонування	±5%	
Крутний момент (номінальний)	2 Нм	5 Нм
Ручне керування	При натисканні та утриманні кнопки	
Час повороту	90 с/90°	

Рис. 5.5 – Зовнішній вигляд та основні техн.характеристики виконавчого механізму Belimo LR24A-SR

LR24A-SR, NR24A-SR, SR24A-SR
LR24A-MF, NR24A-MF, SR24A-MF

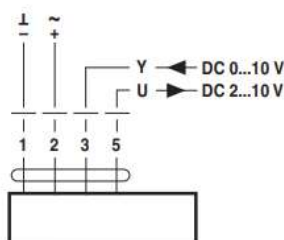


Рис. 5.6 – Схема підключення Belimo LR24A-SR

Для зміни електричної потужності, яка передається ТЕНу і іде на нагрів води, використаємо твердотільне реле RN 1F12I30 фірми CARLO GAVAZZI.



Технічні характеристики:

Current controlled input
Control current range
Allowable input current
Reverse polarity protected
Voltage drop

RN.F.I.
4 - 20 mA
50 mA
Yes
10 VDC @ 20 mA

Rated operational current
AC1 @Ta=30°C
" @Ta=40°C
" @Ta=50°C
" @Ta=60°C

RN.F.30
30 A
25 A
23 A
20 A

Zero crossing detection

Yes

Рис. 5.7 – Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики твердотільного реле RN 1F12I30

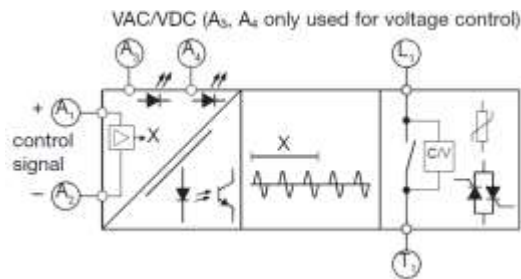


Рис. 5.8 – Схема підключення твердотільного реле RN 1F12I30

Для переривання потоку шоколадної маси використаємо електромагнітний клапан CEME 8617, сигнал керування 0-220 V AC.



Технічні характеристики:

Дія
сервокерування
Виконання нормально закритий
Пропускна здатність K_v 22 м³/год
Мінімальний диференціал тиску 0,3 бар
Максимальний диференціал тиску 10 бар;
живлення 230 V AC
ступінь захисту IP 54;

Рис. 5.9 – Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики клапану CEME 8617

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

Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи.

Виконавши аналіз системи автоматизації темперування шоколадної маси (ШМ) за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні оброблятися в керуючому пристрої - контролері.

Табл. 5.1 Список параметрів на входах або виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Температура ШМ в зоні охолодження	A	I	4...20 mA DC
2	Температура ШМ в зоні нагріву	A	I	4...20 mA DC
3	Сигнал стану 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 стану 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 стану авт.вимикача M3	D	I	24 V DC
10	Сигнал стану контактора M3	D	I	24 V DC
11	Сигнал перемикача режиму M3	D	I	24 V DC
12	Сигнал стану реле тиску води	D	I	24 V DC
13	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
14	Сигнал керування M2	D	O	24 V DC
15	Сигнал керування M3	D	O	24 V DC
16	Сигнал керування відсічної засувкою	D	O	24 V DC
17	Сигнал керування звук.сигн.	D	O	24 V DC
18	Сигнал керування виконавчим механізмом подачі охолоджувачої води	A	O	4...20 mA DC
19	Сигнал керування твердотільним реле	A	O	4...20 mA DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 2, AO – 2, DI – 10, DO – 5

Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

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

Систему керування ПВК будемо розробляти на базі контролера S7-1200 фірми Siemens. 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.

На наступному рисункі наведені рекомендації з монтажу Simatic S7-1200 у шафі з урахуванням зазорів та можливості розсіювання тепла.

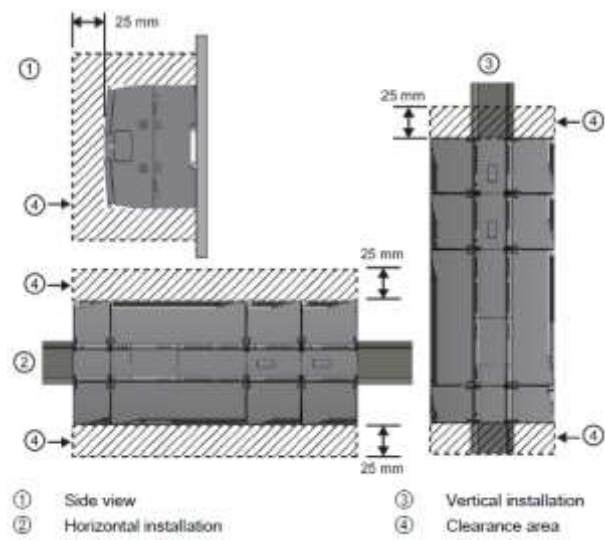


Рис. 5.10 – Зазори при встановленні S7-1200 у шафі

Приміщення цеху опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання, а не з розширеним температурним діапазоном, які дорожче.

Враховуючи список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролеру, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування приймає наступний вигляд (рис. 5.10).



Рис. 5.11 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

Центральний процесор CPU 1214C середнього рівня продуктивності для програмованих контролерів S7-1200. Має вбудовані каналів вводу-виводу,

орієнтований на рішення стандартних завдань автоматичного керування. Дозволяє використовувати в системі локального вводу-виводу весь спектр сигнальних, технологічних та комунікаційних модулів S7-1200.

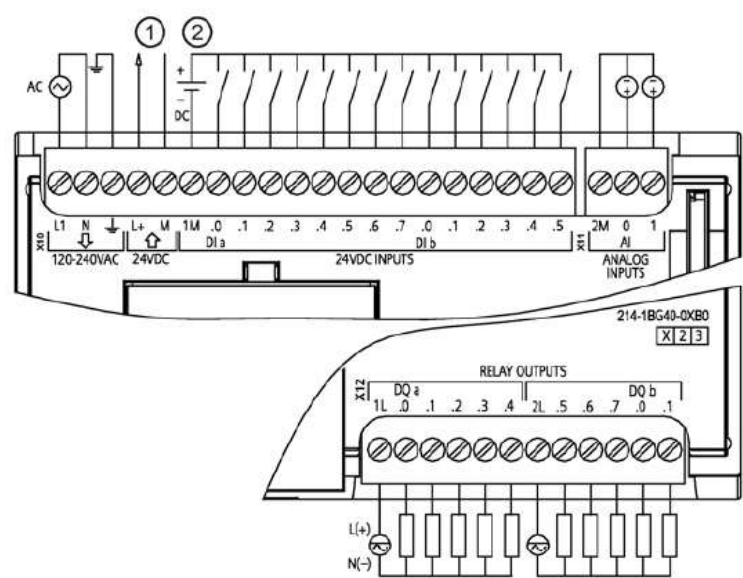


Рис. 5.12 – Схема підключення входів і виходів CPU 1214C

Для вводу аналогових сигналів обраний модуль SM 1231 AI 4 x 13 bit (6ES7 231-4HD32-0XB0)

Number of inputs	4 inputs (AI)
Type	Voltage or current (differential), selectable in groups of 2
Dimensions W x H x D (mm)	45 x 100 x 75
Weight	180 grams
Power dissipation	1.5 W
Current consumption (SM Bus)	80 mA
Current consumption (24 VDC)	45 mA

The diagram shows the terminal block for the SM 1231 AI module. It includes connections for DC power (L+, M, 0, PE) and four analog inputs (AI 1, AI 2, AI 3, AI 4) which are selectable for voltage or current measurement.

Рис. 5.13 – Технічні характеристики та схема підключень датчиків сили струму до входів SM 1231

Для виводу аналогових сигналів обраний модуль SM 1232 AQ 4 x 14 bit (6ES7 232-4HD32-0XB0

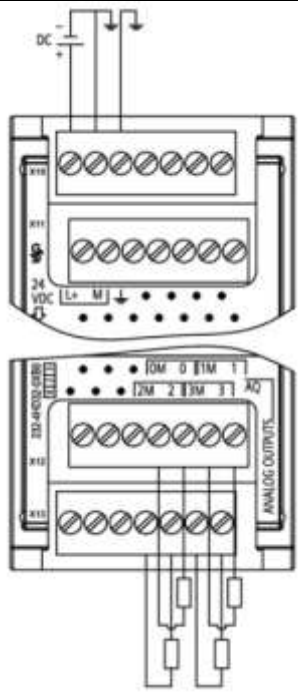
Number and type of outputs	
Dimensions W x H x D (mm)	
Weight	
Power dissipation	
Current consumption (SM Bus)	
Current consumption (24 VDC)	
4 outputs (AQ)	
45 x 100 x 75	
180 grams	
1.5 W	
80 mA	
45 mA (no load)	

Рис. 5.14 – Технічні характеристики та схема підключень датчиків сили струму до входів SM 1232

5.5 Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити керування процесом темперування шоколадної маси. 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 S7-1200 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи.

6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК

6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж

У середовищі TIA Portal створюємо проект, до складу якого додаємо контролер CPU 1214 та панель оператора TP1900 Comfort. Ці засоби за своїми технічними характеристиками дозволяють вирішити поставлену задачу автоматизації.

Конфігуруємо мережеві зв'язки між обраним контролером та панеллю оператора, для чого у вікні пов'язуємо їх та вказуємо IP адреси. В якості типу з'єднання обираємо HMI connection.

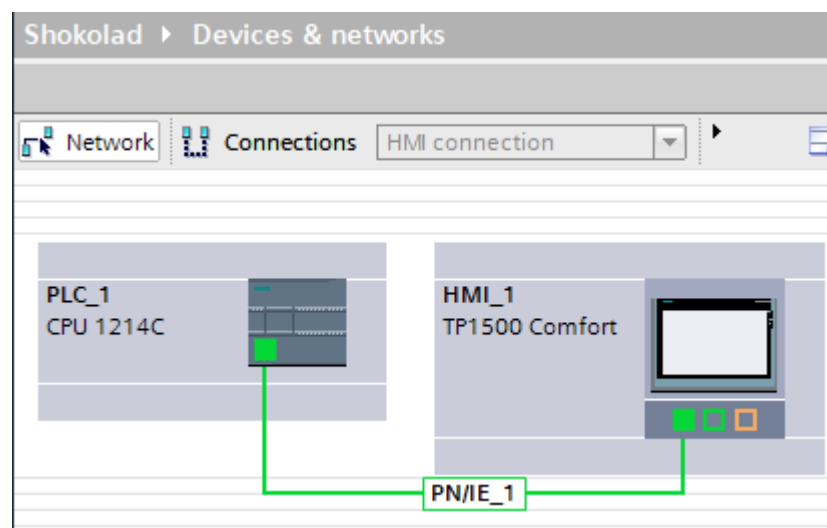


Рис. 6.1 – Визначення складу технічних засобів проекту

На вкладці Properties контролера (CPU) встановлюємо «галочки», щоб мати можливість користуватися байтами системної пам'яті та байтами часової пам'яті (рис. 6.2).

Далі обираємо з каталогу необхідні модулі вводу/виводу, для чого перетягуємо їх за допомогою миші в поле редагування з бібліотеки (рис. 6.3) Присвоюємо імена фізичним входам і виходам і виконуємо конфігурування модулів ПЗО, для чого обираємо тип і діапазони зміни вхідних та вихідних сигналів (рис. 6.4)

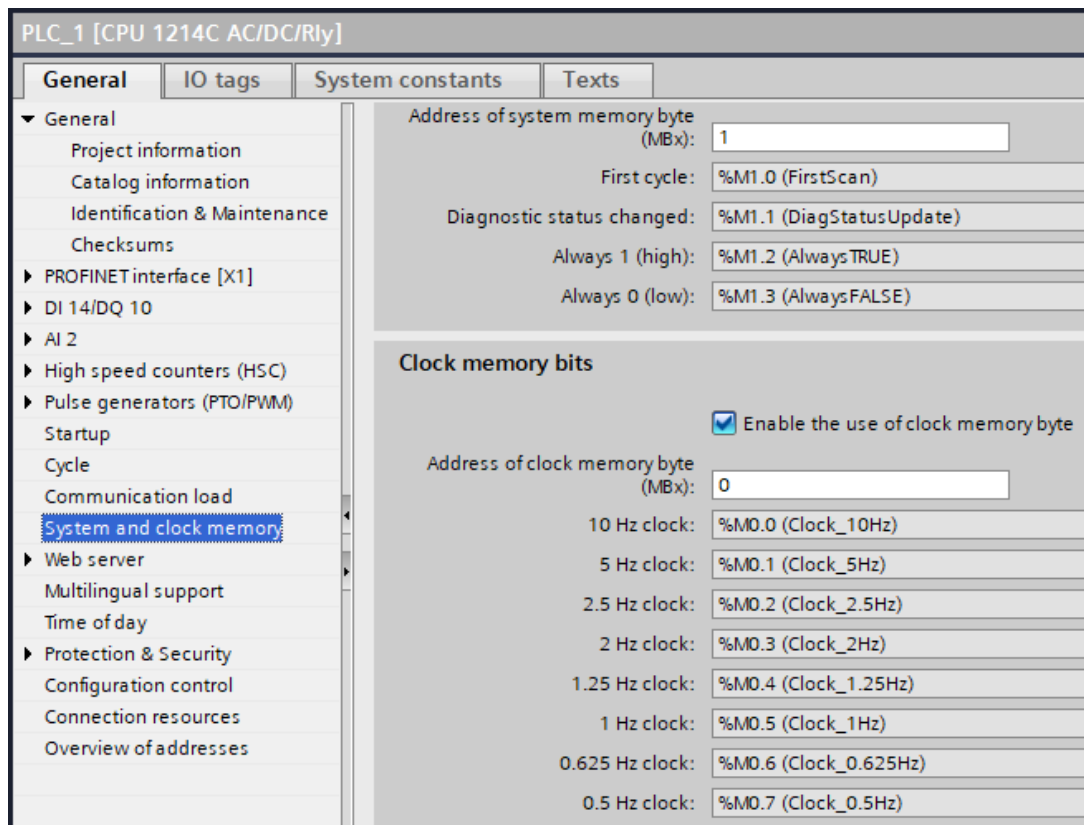


Рис. 6.2 – Приклад використання системних областей пам'яті CPU

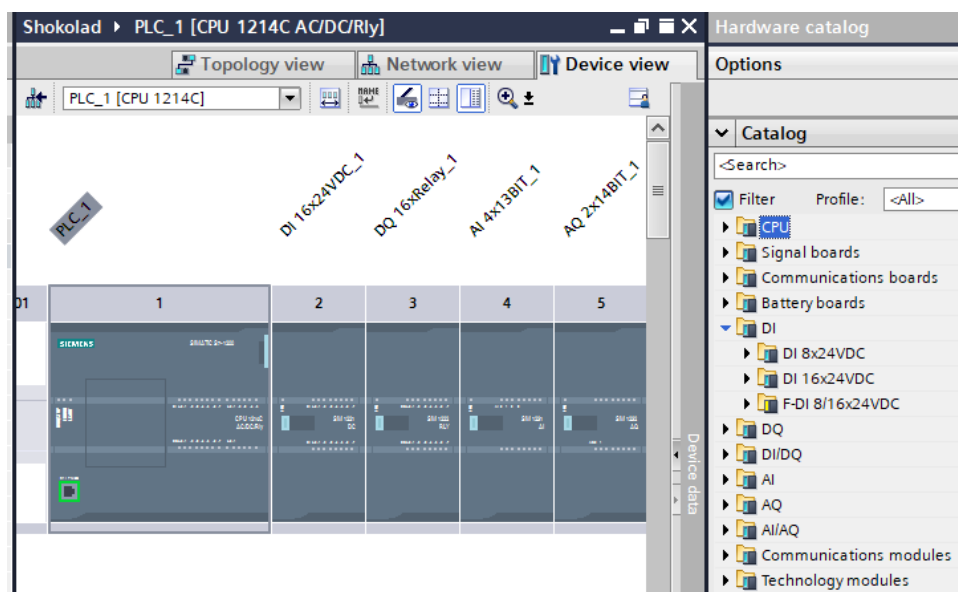


Рис. 6.3 – Приклад визначення модулів ПЗО

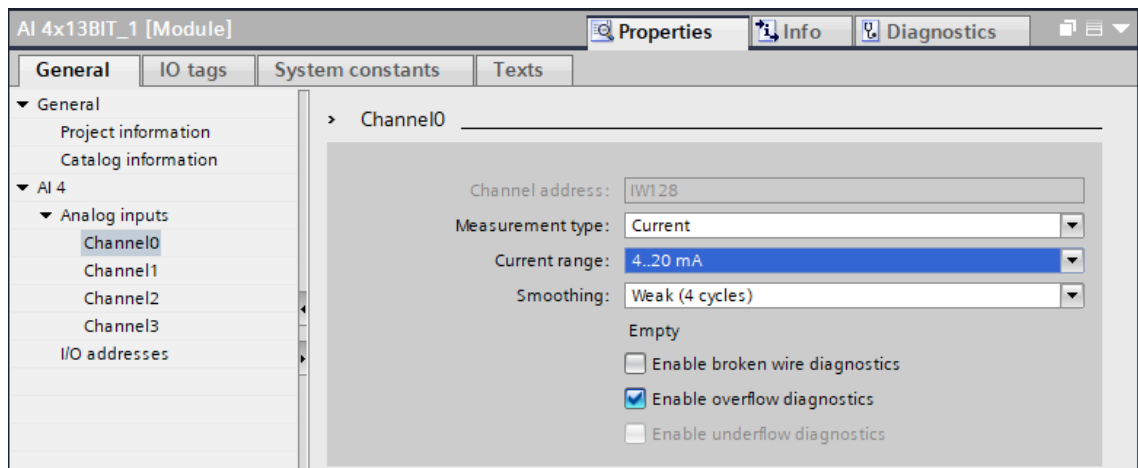


Рис. 6.4 – Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни для аналогового модуля

Відповідно до табл. 5.5 проводимо остаточне редагування імен вхідів/виходів в таблиці тегів програми.

...1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] ▸ PLC tags ▸ Default tag table [7]

Tags User constants System

Default tag table

	Name	Data type	Address
5	bSolValveHome1	Bool	%I0.0
6	bSolValveWork1	Bool	%I0.1
7	bStartMotor1	Bool	%I0.2
8	bStartMotor2	Bool	%I0.3
9	bStartMotor3	Bool	%I0.4
10	bSolValveHome2	Bool	%I0.5
11	bSolValveWork2	Bool	%I0.6
12	bDI8	Bool	%I0.7
13	bDI9	Bool	%I1.0
14	bDI10	Bool	%I1.1
15	bDI11	Bool	%I1.2
16	bDI12	Bool	%I1.3
17	bDI13	Bool	%I1.4
18	bDI14	Bool	%I1.5
19	bOutSolValve1	Bool	%Q0.0
20	bOutMotor1	Bool	%Q0.1
21	bOutMotor2	Bool	%Q0.2
22	bOutMotor3	Bool	%Q0.3
23	bOutSolValve2	Bool	%Q0.4

Рис. 6.5 – Приклад вікна таблиці тегів

6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

В дереві каталогу проекту створюємо два підкаталоги - Cyclic та Logic. В першому будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи регулювання, а в другому будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування.

У вкладці Libraries відкриваємо бібліотеку SOL і за допомогою миші перетягуємо в проект теги з бібліотеки SOL та необхідні функціональні блоки для керування електроприводами, аналоговими та відсічним клапанами.

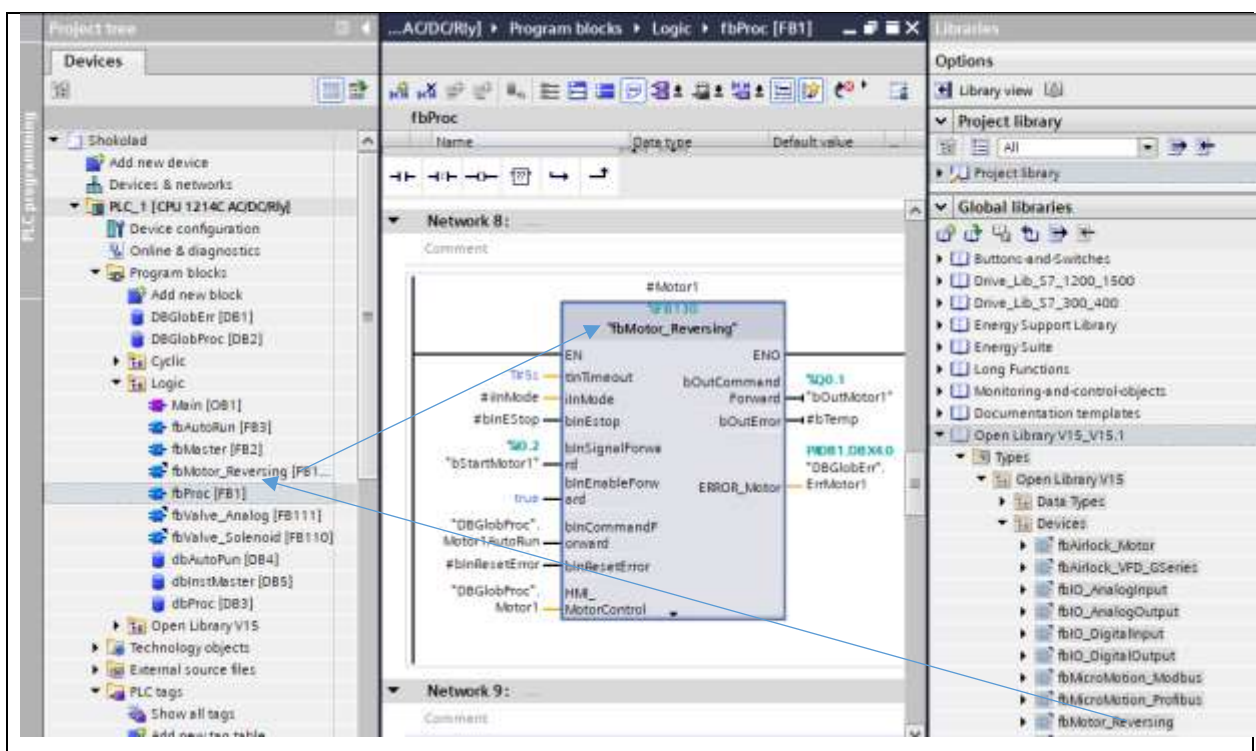


Рис. 6.6 – Приклад додавання функціонального блоку FB Motor

Основні функціональні можливості цих блоків:

- формування керуючих впливів;
- - аналіз зворотного зв'язку про результати виконання;
- - формування структур даних для обміну з НМІ програмами.

Далі створюємо два глобальних блоки даних dbTehProc, dbErrors, використовуючи бібліотечні типи даних, які розміщені в дереві каталогу проекту PLC data types (рис. 6.7).

The screenshot shows two windows from the Siemens STEP 7 software. The top window is titled 'DBGlobProc [DB2]' and the bottom window is titled 'DBGlobErr [DB1]'. Both windows show a table of variable declarations with columns for Name, Data type, Start value, and Ret... (return address).

DBGlobProc [DB2] Table:

	Name	Data type	Start value	Ret...
1	Static			
2	SolValve1AutoRun	Bool	false	
3	SolValve2AutoRun	Bool	false	
4	SimErr	Bool	false	
5	Motor1AutoRun	Bool	false	
6	Motor2AutoRun	Bool	false	
7	Motor3AutoRun	Bool	false	
8	rOutAnValveT1	Real	0.0	
9	rOutAnValveT2	Real	0.0	
10	SolValve1	*udtHMI_ValveCont...		
11	SolValve2	*udtHMI_ValveCont...		
12	SystemControl	*udtHMI_SystemCo...		
13	RunControl	*udtHMI_SystemRu...		
14	AnValveT1	*udtHMI_AnalogVal...		
15	AnValveT2	*udtHMI_AnalogVal...		
16	Motor1	*udtHMI_MotorCon...		
17	Motor2	*udtHMI_MotorCon...		
18	Motor3	*udtHMI_MotorCon...		
19	PIDT1	*udtPID41"		
20	PIDT2	*udtPID41"		
21	zvuk	Bool	false	

DBGlobErr [DB1] Table:

	Name	Data type	Offset	Start value
1	Static			
2	ErrAnValveT1	*udtError_Analo...	0.0	
3	ErrSolValve1	*udtError_Valve"	2.0	
4	ErrMotor1	*udtError_Motor"	4.0	
5	ErrMotor2	*udtError_Motor"	6.0	
6	ErrMotor3	*udtError_Motor"	8.0	
7	ErrAnValveT2	*udtError_AnalogV...	10.0	
8	ErrSolValve2	*udtError_Valve"	12.0	

Рис. 6.7 – Створення глобальних dbTehProc, dbErrors

Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів M1, M2, M3 аналогових та відсічного

клапанів. Створюємо інтерфейс цього функціонального блоку, в якому в розділах Input, Output, Static, Temp вказуємо імена змінних та їх типи (рис. 6.8).

fbProc			
	Name	Data type	Default value
1	▼ Input		
2	ilnMode	Int	0
3	bInEStop	Bool	false
4	bInResetError	Bool	false
5	binSimulate	Bool	false
6	▼ Output		
7	bOutAuto	Bool	false
8	bOutError	Bool	false
9	▼ InOut		
10	<Add new>		
11	▼ Static		
12	SolValve1	"fbValve_Solenoid"	
13	SolValve2	"fbValve_Solenoid"	
14	Motor1	"fbMotor_Reversing"	
15	Motor2	"fbMotor_Reversing"	
16	Motor3	"fbMotor_Reversing"	
17	AnValveT1	"fbValve_Analog"	
18	AnValveT2	"fbValve_Analog"	
19	rInAnValveT1	Real	0.0
20	rInAnValveT2	Real	0.0

Рис. 6.8 – Інтерфейс fbProc

Підпрограма fbProc створена на мові LD. Для кожного соленоїдного клапану викликається екземпляр бібліотечного функціонального блоку fbValve_Solenoid та попередньо пишеться строчка програми, яка імітує зворотній зв'язок з виходу цього блоку на його вхід, тобто спрацювання контактора електропривода. До входів/виходів fbValve_Solenoid підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors (рис. 6.9).

Аналогічно здійснюється опит стану електроприводів (рис. 6.10) та аналогових клапанів (рис. 6.11). Для цього викликаються екземпляри бібліотечних функціональних блоків fbMotor_Reversing, fbValve_Analog, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

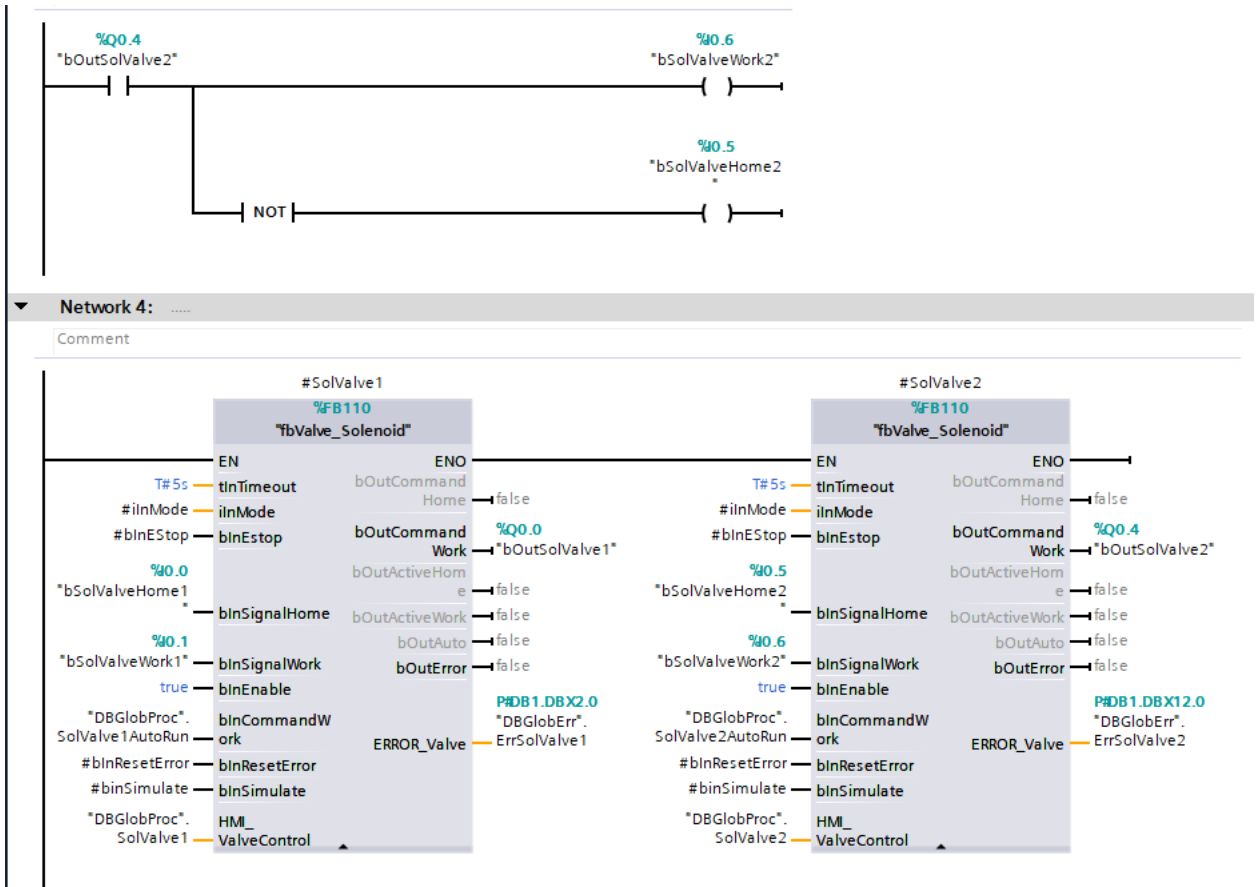


Рис. 6.9 – Фрагмент підпрограми fbProc

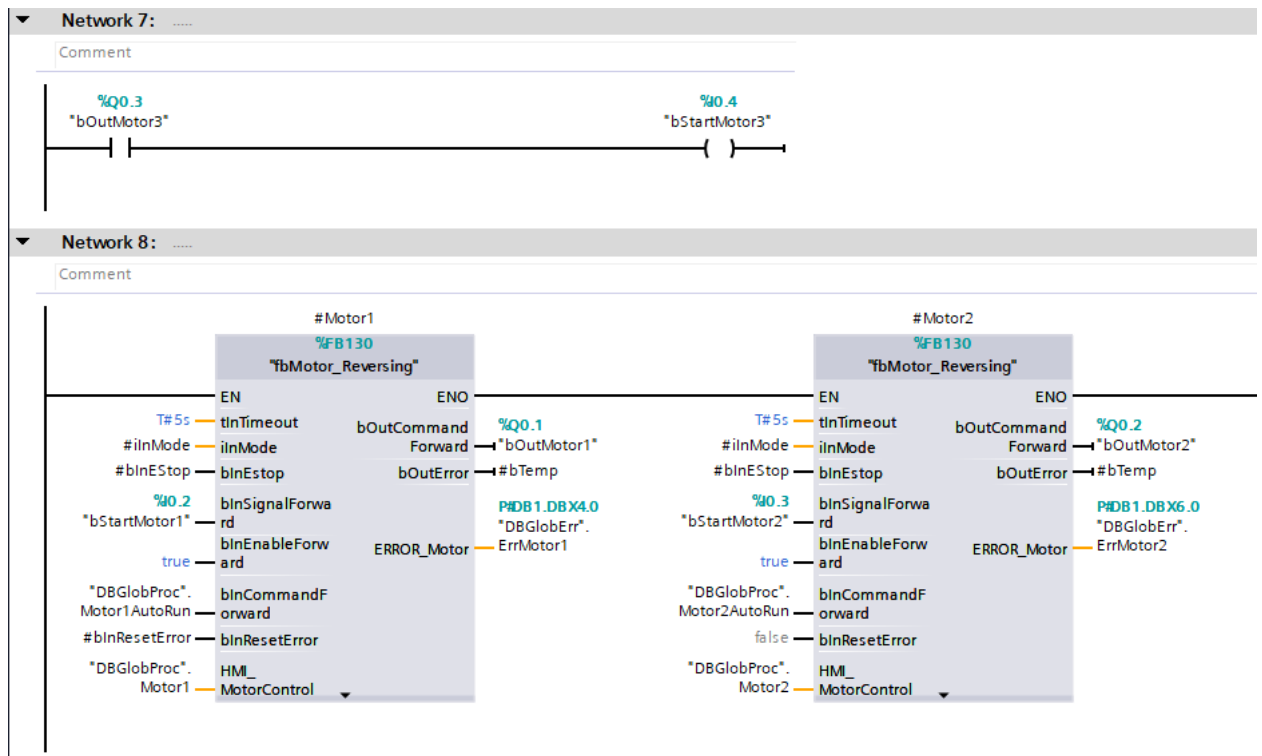


Рис. 6.10 – Фрагмент підпрограми fbProc

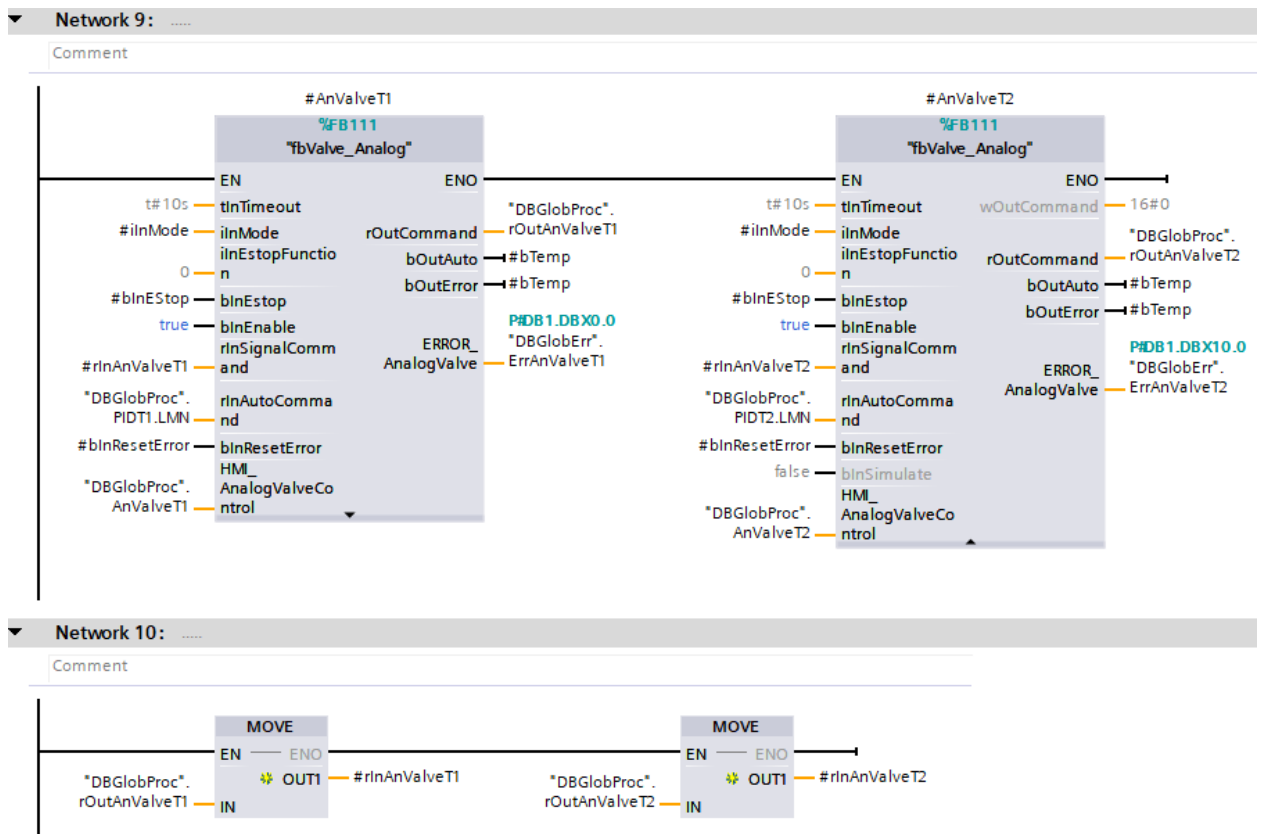


Рис. 6.11 – Фрагмент підпрограми fbProc

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання.

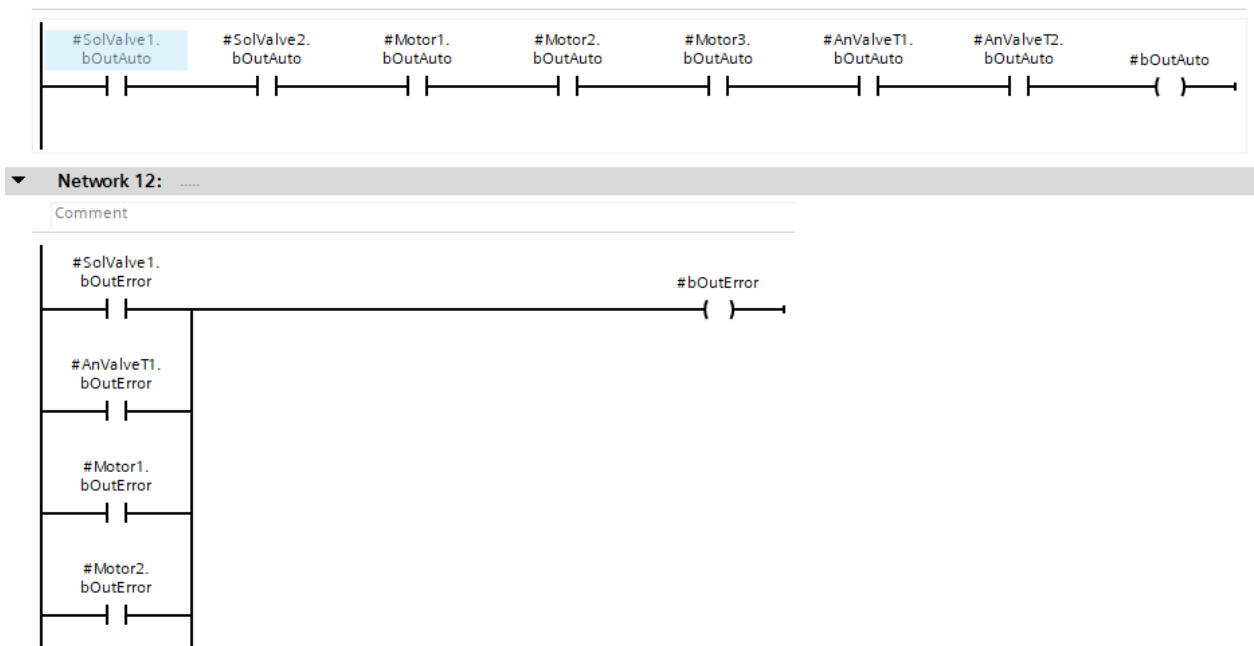


Рис. 6.12 – Фрагмент підпрограми fbProc

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

Спочатку створюється інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun, в якому вказуються змінні та їх типи.

А далі на мові LD пишуться строки цього блоку (рис. 6.14), які забезпечують почерговий запуск та зупинку електроприводів та клапанів. Інтервали затримок встановлюються у відповідних таймерах типу TON, які відносяться до базових інструкцій мови, так само як і SR-тригери.

fbAutoRun				
	Name	Data type	Default value	Retain
1	▼ Input			
2	binEnableStart	Bool	false	Non-ret...
3	binNotError	Bool	false	Non-retain
4	▼ Output			
5	bOutAutoRun	Bool	false	Non-retain
6	▼ InOut			
7	<Add new>			
8	▼ Static			
9	bAutoRun	Bool	false	Non-retain
10	bAutoStop	Bool	false	Non-retain
11	bSolValve	Bool	false	Non-retain
12	bMotor1	Bool	false	Non-retain
13	bMotor2	Bool	false	Non-retain
14	bMotor3	Bool	false	Non-retain
15	► Timer1	IEC_TIMER		Non-retain
16	► Timer2	IEC_TIMER		Non-retain
17	► Timer3	IEC_TIMER		Non-retain
18	► Timer4	IEC_TIMER		Non-retain
19	► Timer5	IEC_TIMER		Non-retain
20	► Timer6	IEC_TIMER		Non-retain

Рис. 6.13 – Інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun

На початку викликається на виконання передпускова сигналізація і запускаються в роботу електропривод мішалки (рис. 6.14).

Далі послідовно вмикаються електроприводи і клапан для подачі шоколадної маси (рис. 6.15).

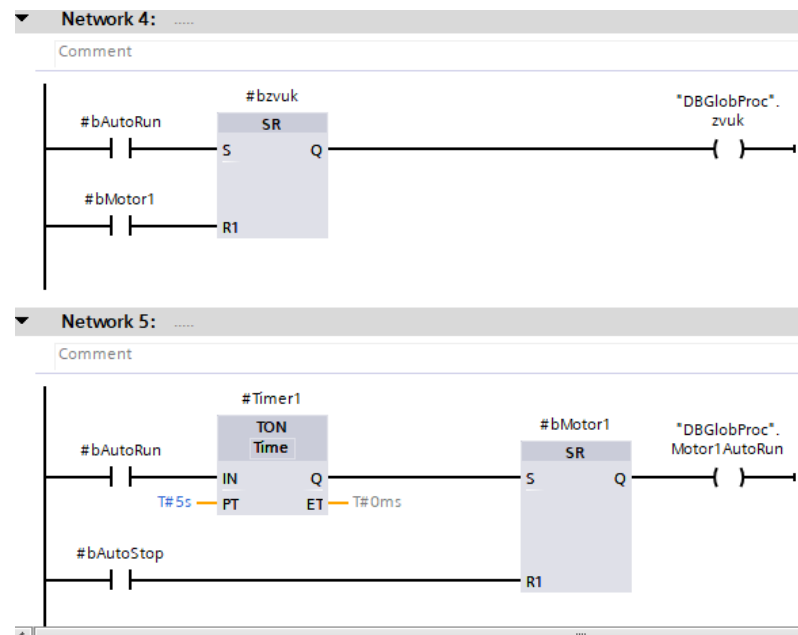


Рис. 6.14 – Фрагмент підпрограми fbAutoRun

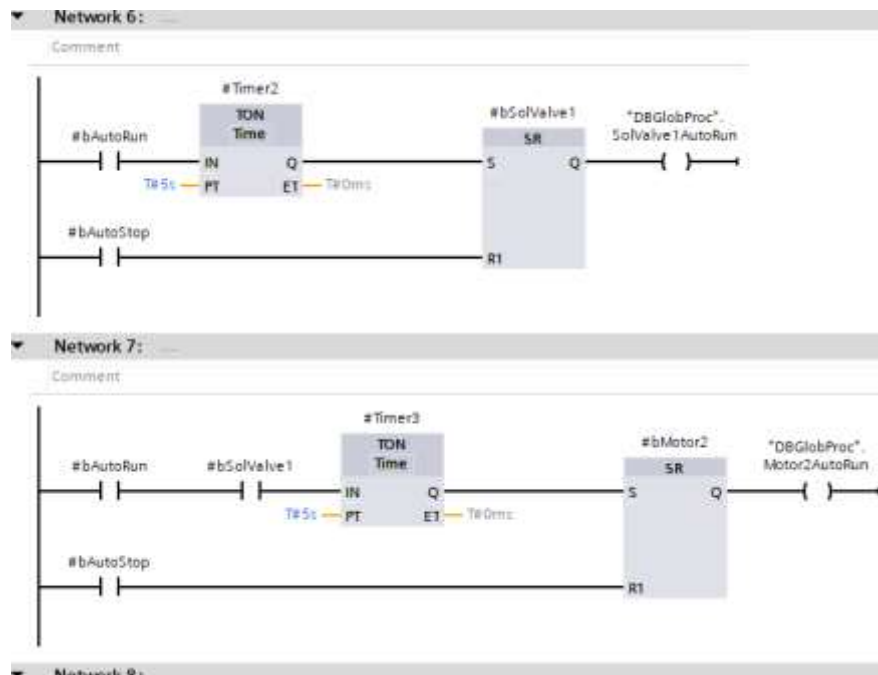


Рис. 6.15 – Фрагмент підпрограми AutoRun

Виклик на виконання підпрограм fbProc та fbAutoRun здійснюється в підпрограмі Master (рис. 6.16). Вона в свою чергу викликається на виконання в головній програмі Main (OB1).

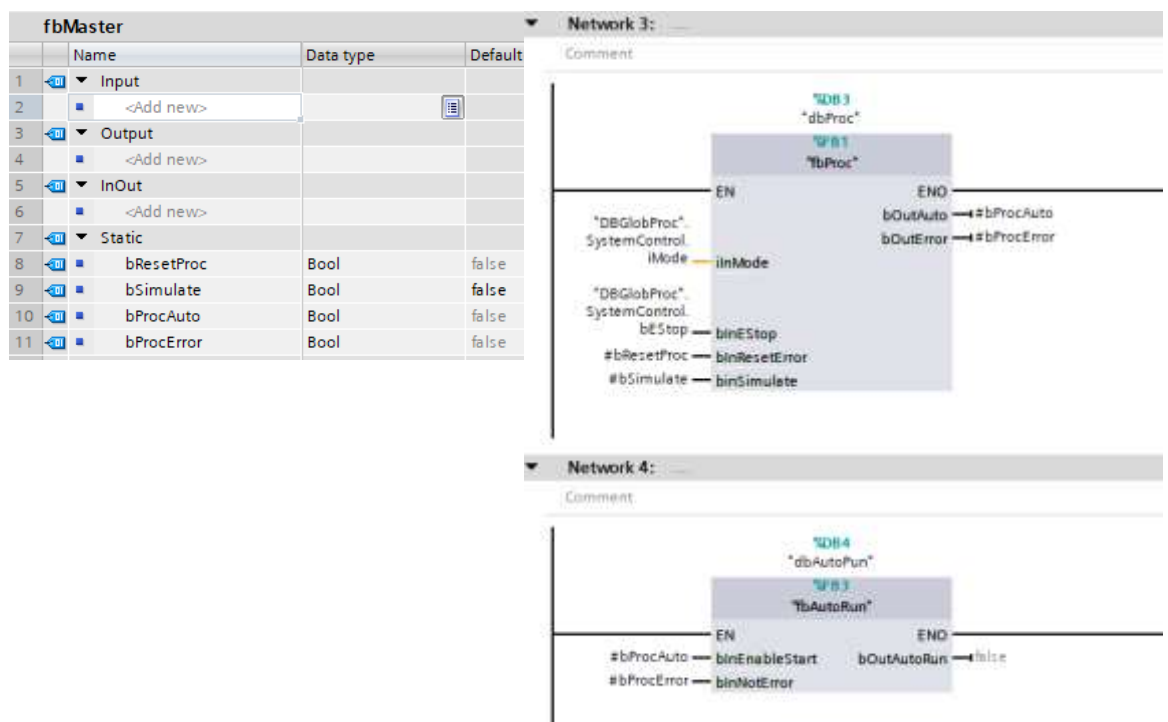


Рис. 6.16 – Інтерфейс та текст підпрограми Master

Ці підпрограми виконуються циклічно, що забезпечує опит стану обладнання, його автоматичний пуск і зупинку.

6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

В розділах 1..3 роботи були розроблені і протестовані алгоритми регулювання, де були визначені параметри моделі об'єкту керування і параметри ПІД-регуляторів.

В середовищі TIA Portal модель САР реалізуємо у функціональному блоці FB SAR, розрахунок якого виконується кожну 0,1 сек в організаційному блоці Cyclic interrupt (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 типового регулятора PID41 та типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSim_Lagging і FB LSim_PT1), що формують модель ОК. Інтерфейс підпрограми САР представлений на рис. 6.17, в якому вказані змінні підпрограми та їх типи.

fbSAR			
	Name	Data type	Default value
1	▼ Input		
2	■ <Add new>		
3	▼ Output		
4	■ <Add new>		
5	▼ InOut		
6	■ <Add new>		
7	▼ Static		
8	■ ▶ ZapT1	"LSim_Lagging"	
9	■ ▶ ZapT2	"LSim_Lagging"	
10	■ ▶ ApZvT11	"LSim_PT1"	
11	■ ▶ ApZvT12	"LSim_PT1"	
12	■ ▶ ApZvT21	"LSim_PT1"	
13	■ ▶ ApZvT22	"LSim_PT1"	
14	■ ▶ PIDT1	"PID41"	
15	■ ▶ PIDT2	"PID41"	
16	■ uDelayCyclesT1	UInt	30
17	■ uDelayCyclesT2	UInt	30
18	▼ Temp		
19	■ bTemp	Bool	
20	■ iTemp	Int	
21	■ diTemp	DInt	
22	■ dwTemp	DWord	
23	■ rTemp	Real	

Рис. 6.17 – Інтерфейс функціонального блоку fbSAR

Перша строчка підпрограми fbSAR містить виклик функціональних блоків ПІД-регулятора PID41, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

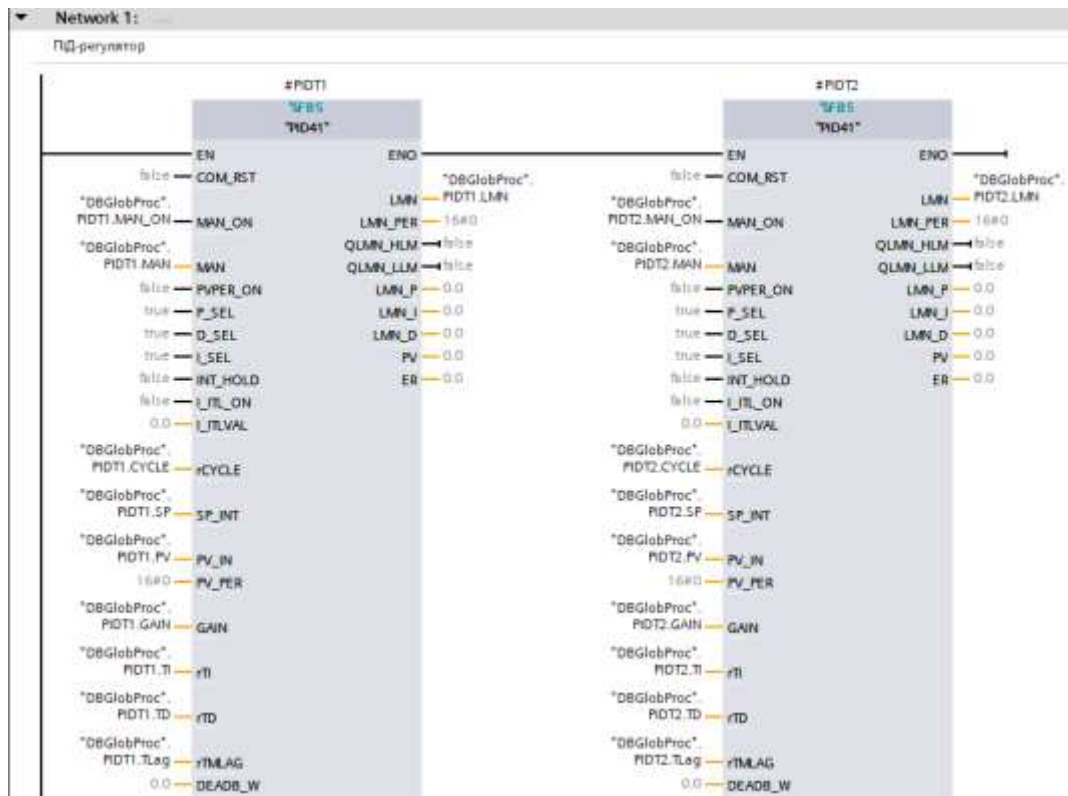


Рис. 6.18 – Фрагмент функціонального блоку fbSAR,
що реалізує ПІД-регулятори

Налаштування параметрів ПІД-регуляторів проводимо через їх блок даних DBGlobProc.

Shokolad ▸ PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] ▸ Program blocks ▸ D

Keep actual values Snapshot

DBGlobProc			
	Name	Data type	Start value
20	MAN_ON	Bool	true
21	MAN	Real	0.0
22	CYCLE	Real	0.1
23	SP	Real	28.5
24	PV	Real	0.0
25	GAIN	Real	-6.3
26	TI	Real	6.0
27	TD	Real	2.0
28	TLag	Real	0.5
29	LMN	Real	0.0
30	PID2	"udtPID41"	
31	MAN_ON	Bool	true
32	MAN	Real	0.0
33	CYCLE	Real	0.1
34	SP	Real	35.2
35	PV	Real	0.0
36	GAIN	Real	5.8
37	TI	Real	6.5
38	TD	Real	2.3
39	TLag	Real	0.5
40	LMN	Real	0.0

Рис. 6.19 – Приклад налаштування параметрів ПІД-регуляторів

6.4 Висновки за розділом

В результаті виконання даного розділу були визначені процесор та блоки вводу виводу фірми Siemens сімейства S7-1200, проведено їх конфігурування.

Розроблені програми логічного керування технічними засобами та регулювання температур шоколадної маси із використанням бібліотечних функціональних блоків.

Проведено тестування цих програм, яке засвідчило їх відповідність алгоритмам, що були створені в попередніх розділах.

7. 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.

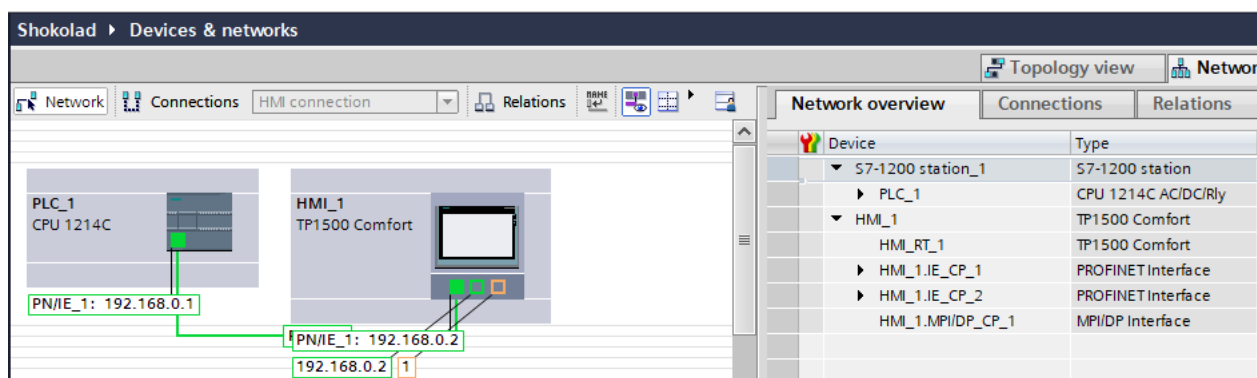


Рис. 7.1 – Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

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

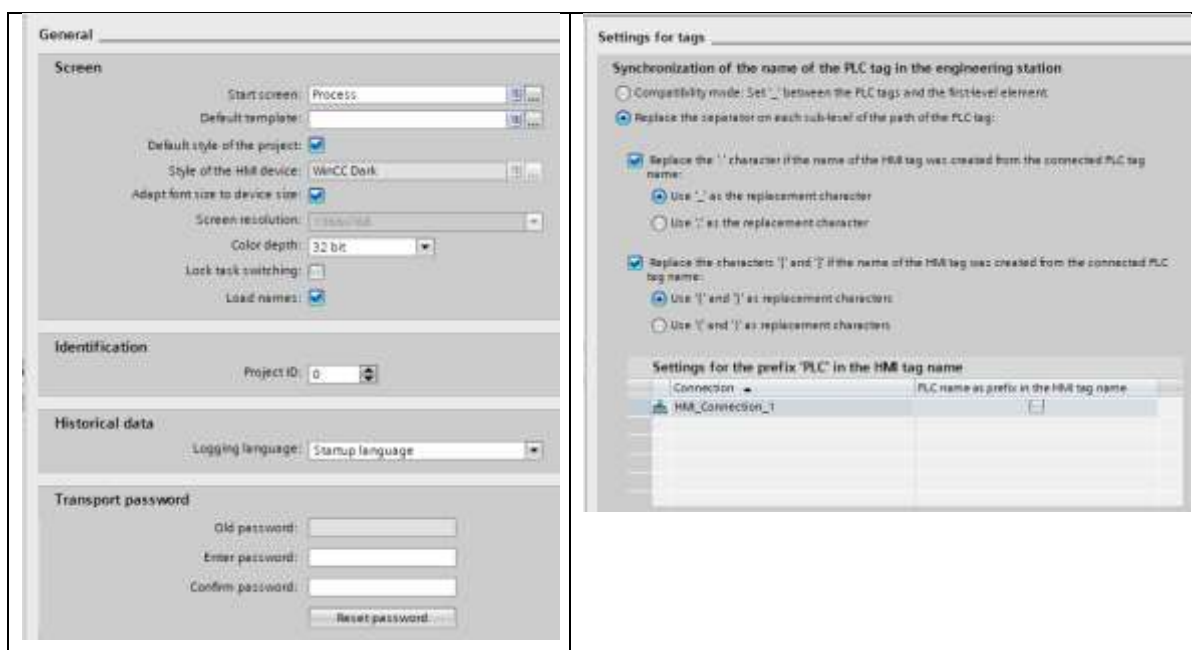


Рис. 7.2 – Конфігурування TP 1900 Comfort

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 dbGlobProc.

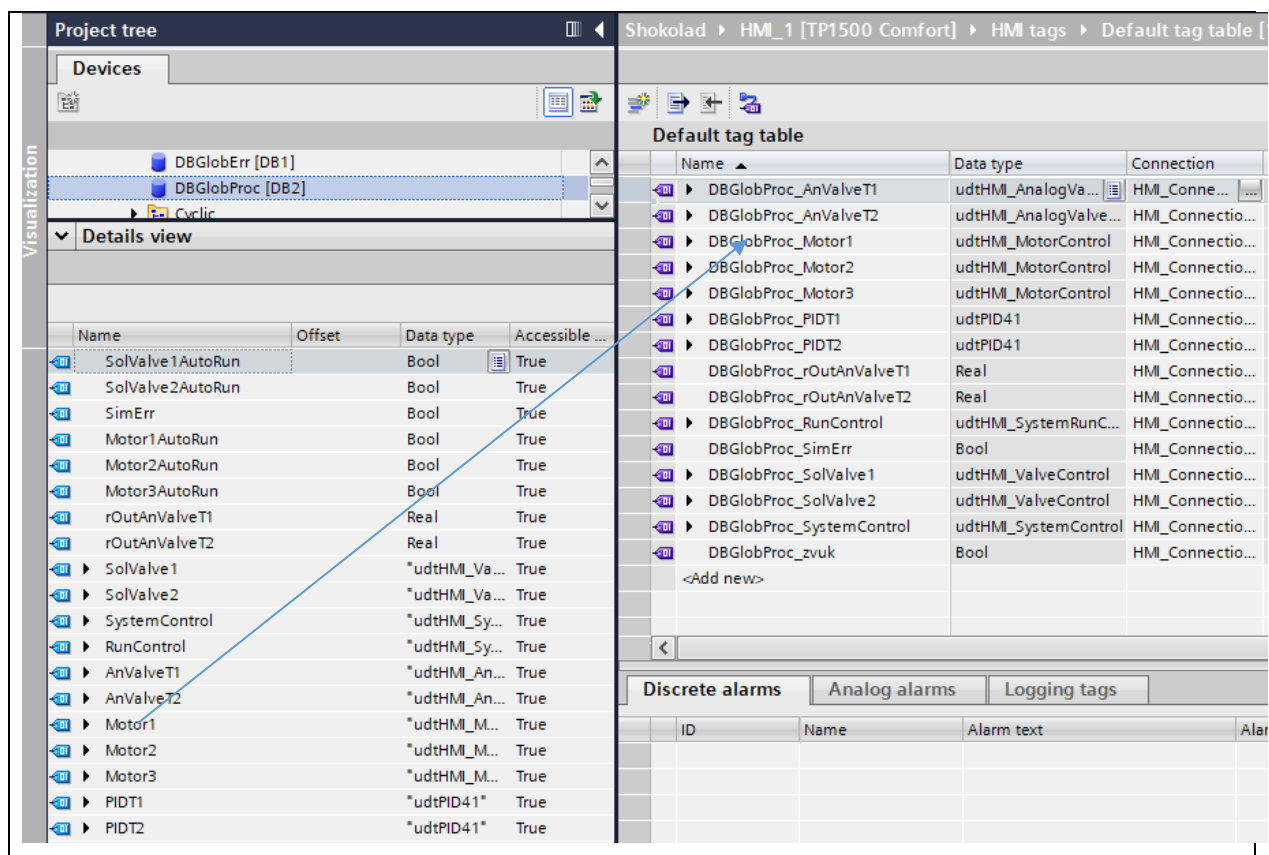


Рис. 7.3 – Приклад створення таблиці HMI-тегів

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

7.2 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога

Структура екранів АРМ оператора-технолога повинна містити в собі екрани для керування процесом сушіння шроту:

- 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. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону будуть присутні на всіх екранах, які входять в проект.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикання екранів АРМ. Він включає логотипи університету, елемент відображення поточної дати і часу, назву проекту, прізвище розробника проекту.



Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. Для перемикання вікон використовуються спеціальні системні функції.

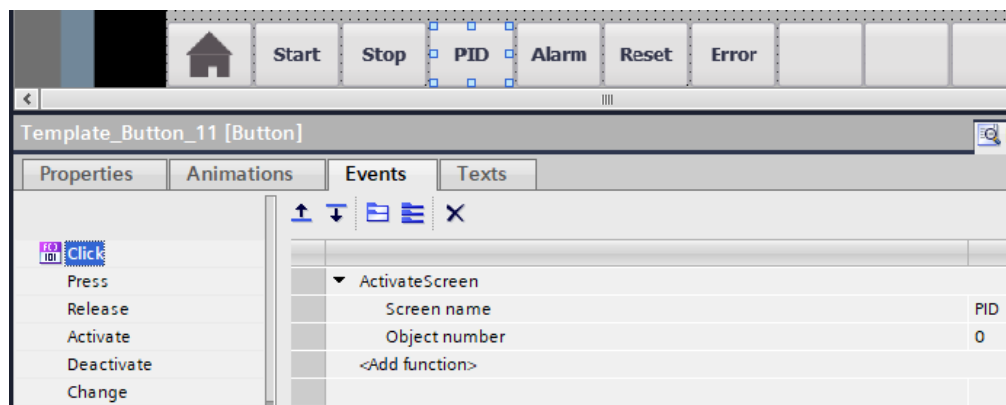


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

Для кожної одиниці обладнання спочатку створюємо пусті спливаючі вікна Pop-up screens, а потім заповнюємо їх відповідними зображеннями з розділу бібліотеки SOL.

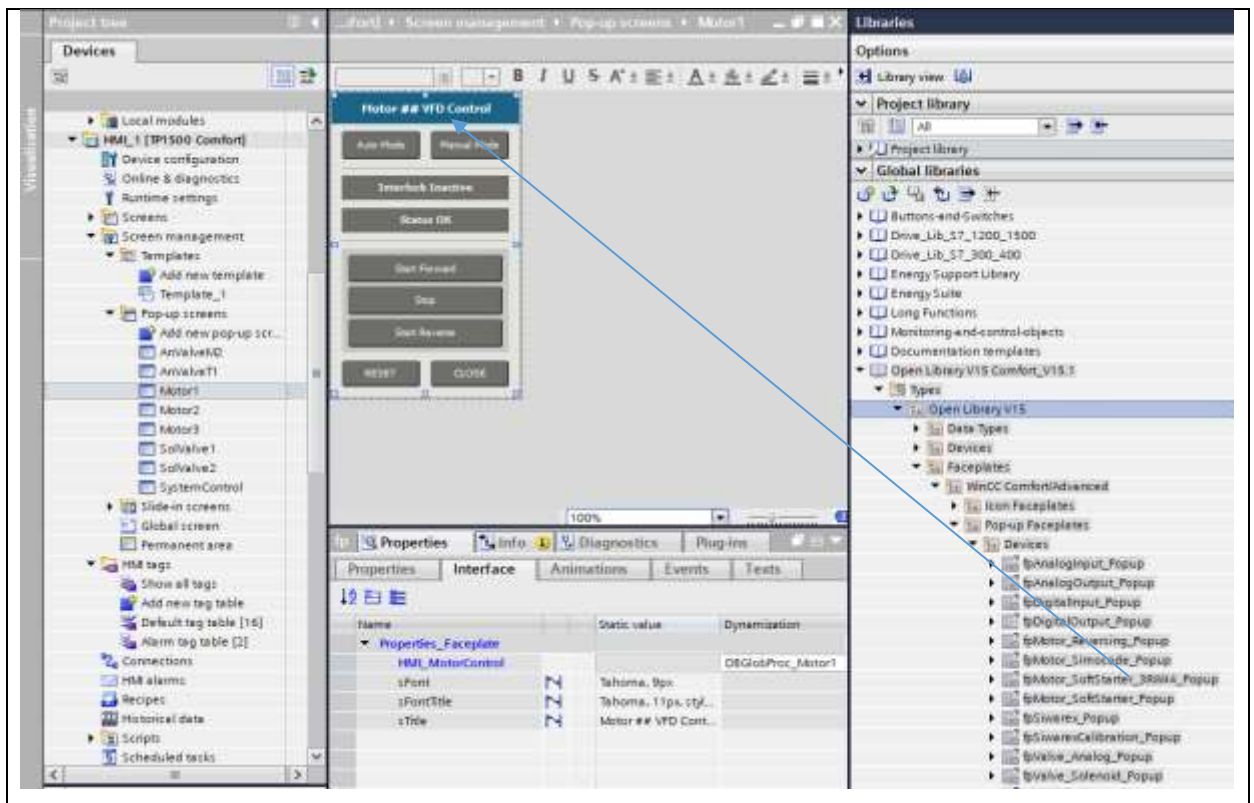


Рис. 7.6 – Приклад створення спливаючих вікон для керування електроприводом

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

fp
 Properties
 Info
 Diagnostics
 Plug-ins

Properties

Interface

Animations

Events

Texts

Name			Static value	Dynamization
▼ Properties_Faceplate				
HMI_MotorControl				DBGlobProc_Motor1
sFont			Tahoma, 9px	
sFontTitle			Tahoma, 11px, styl...	
sTitle			Motor ## VFD Cont...	

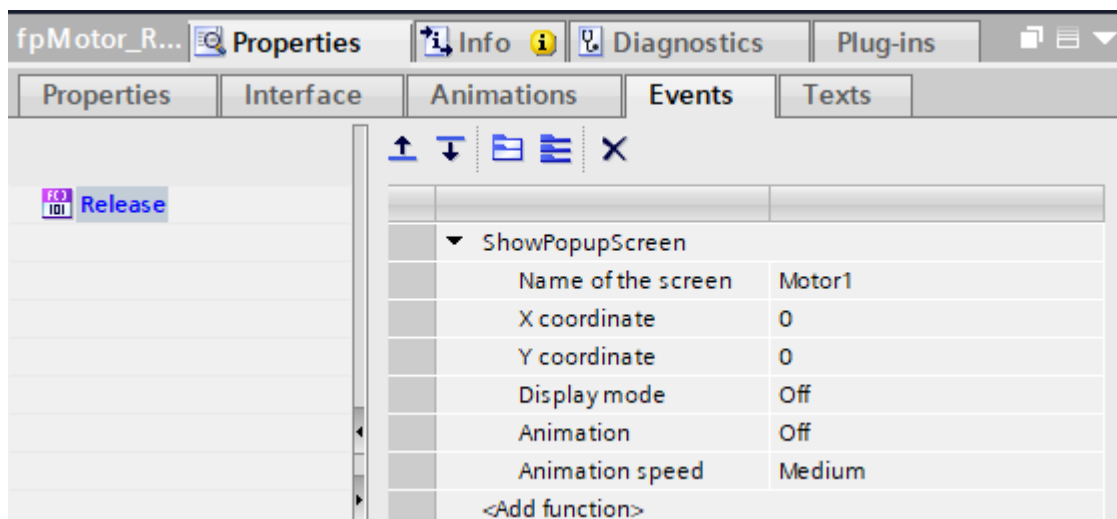


Рис. 7.7 – Приклад визначення параметрів впливаючого вікна

Основний екран «Схема установки» містить схематичне зображення пляшкоюмийної машини 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 переносимо за допомогою миші з відповідного розділу бібліотеки SOL піктограми обладнання.

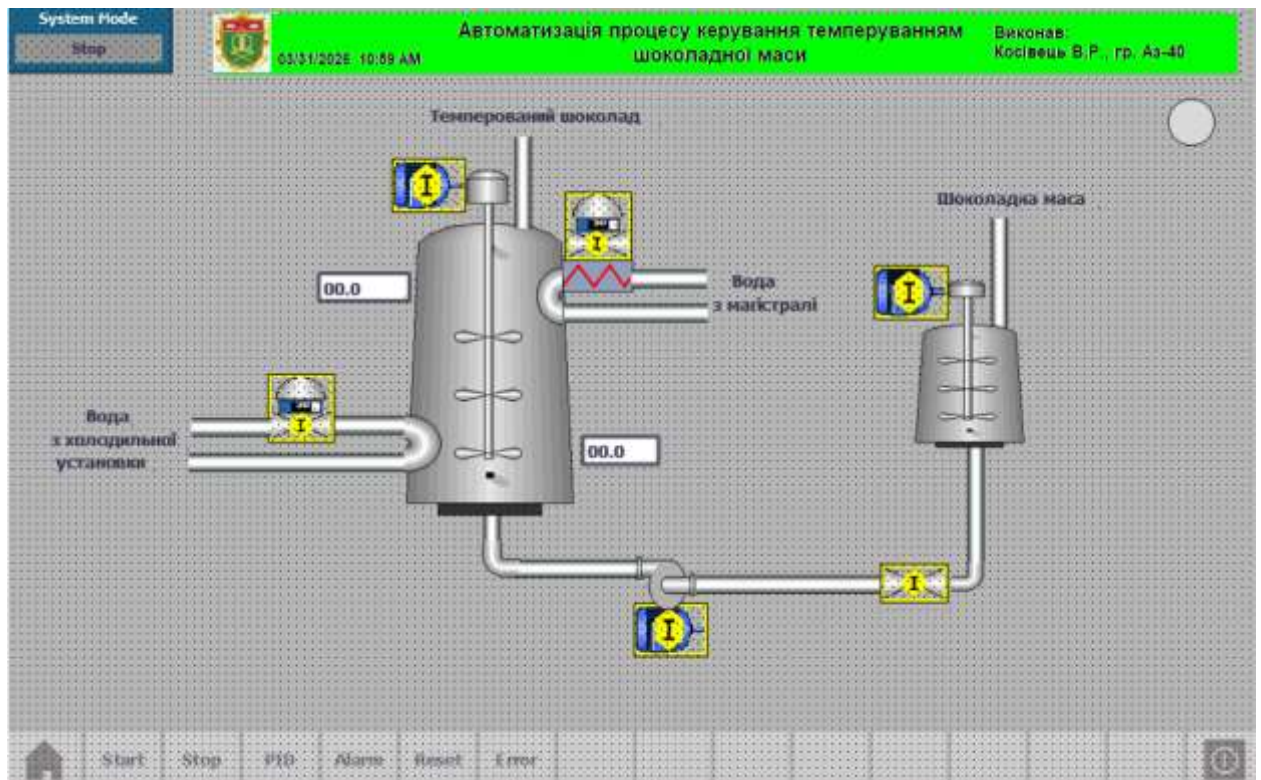


Рис. 7.8 – Екран схеми установки

Кожний піктограму (Faceplate instance) пов’язуємо із відповідним тегом та спливаючим вікном.

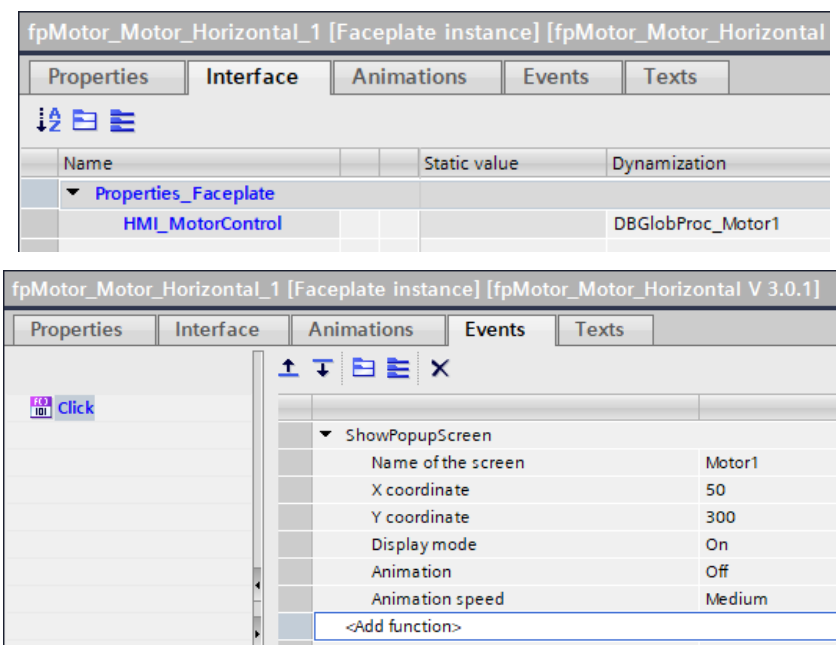


Рис. 7.9 – Приклад налаштування піктограми електроприводу

Натискання на зображення піктограми забезпечить відкривання зображення відповідного спливаючого вікна конкретної одиниці обладнання,

оскільки у властивості Events піктограми вписано виконання системної функції ShowPopupScreen.

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів та налаштування параметрів ПІД-регуляторів в проекті передбачений екран PID (рис. 7.10).

Для побудови графіків зміни температур лужного розчину в ваннах використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.11.

Змінити налаштування регуляторів та задане значення контурів регулювання можна за допомогою вікон вводу/виводу.

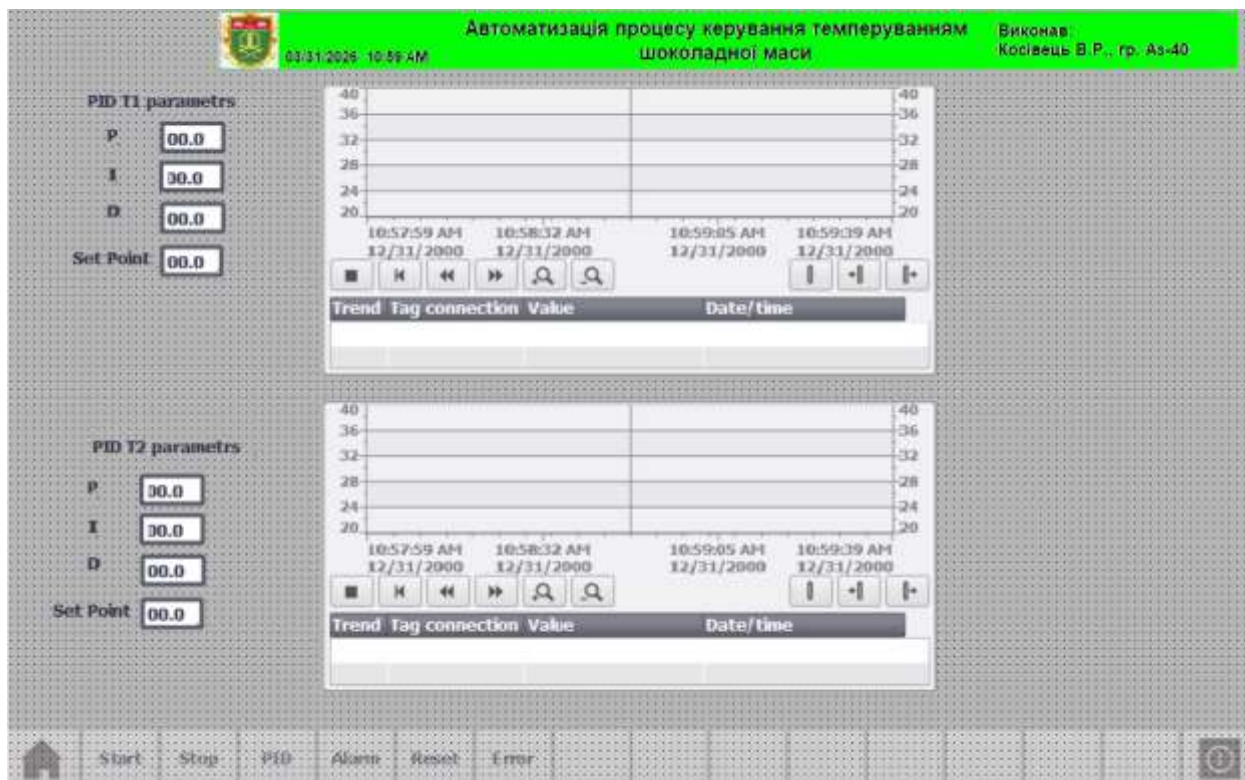


Рис. 7.10 – Екран графіків

Налаштування цих елементів відображення показано на рис. 7.12.

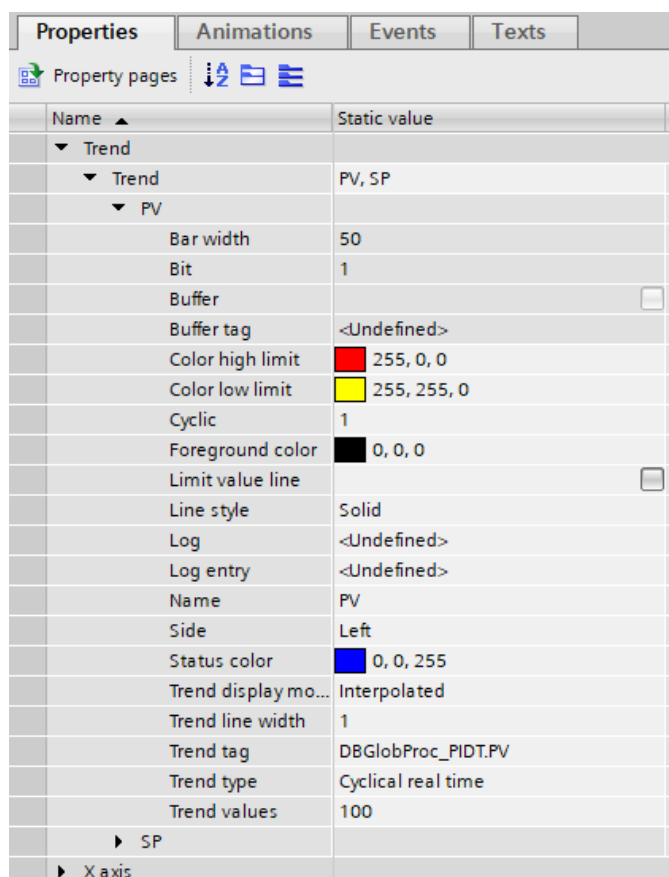


Рис. 7.11 – Вікно налаштування елементу Trend

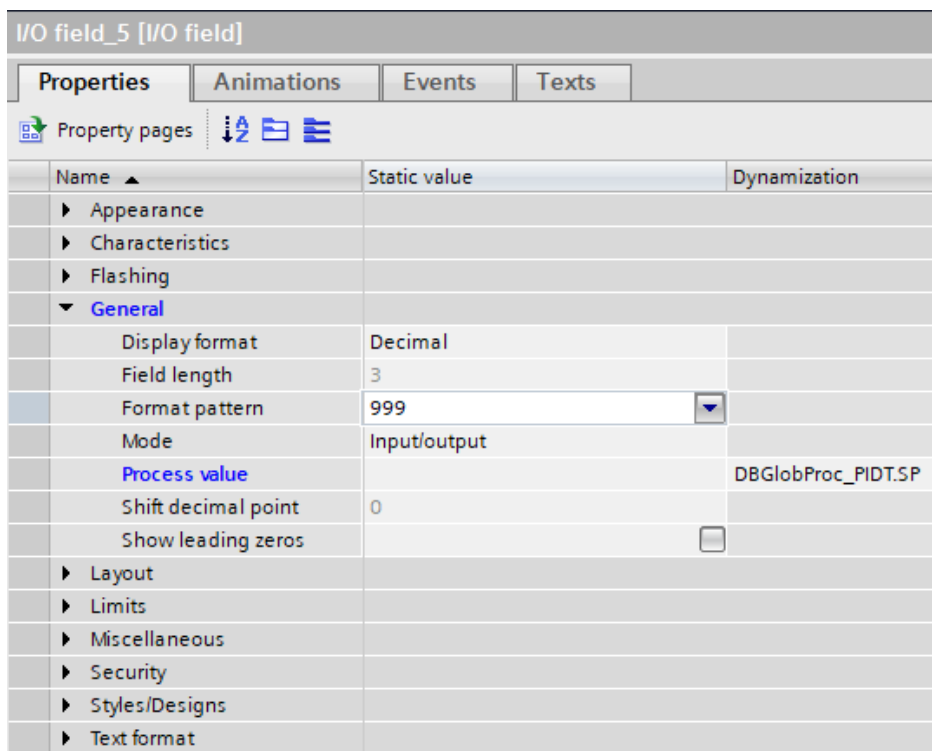


Рис. 7.12 – Налаштування вікна вводу/виводу

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 HMI.

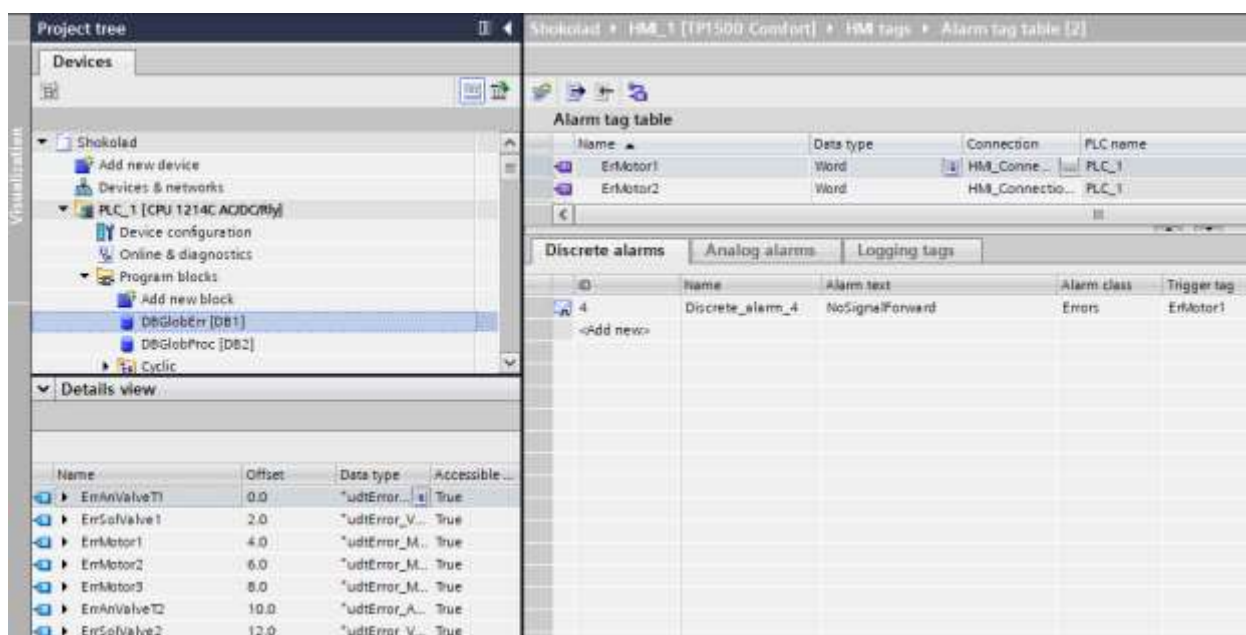


Рис. 7.13 – Приклад прив'язки тегів dbErrors з HMI-тегами

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.

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. 7.14 – Екран Alarms повідомлень про несправності

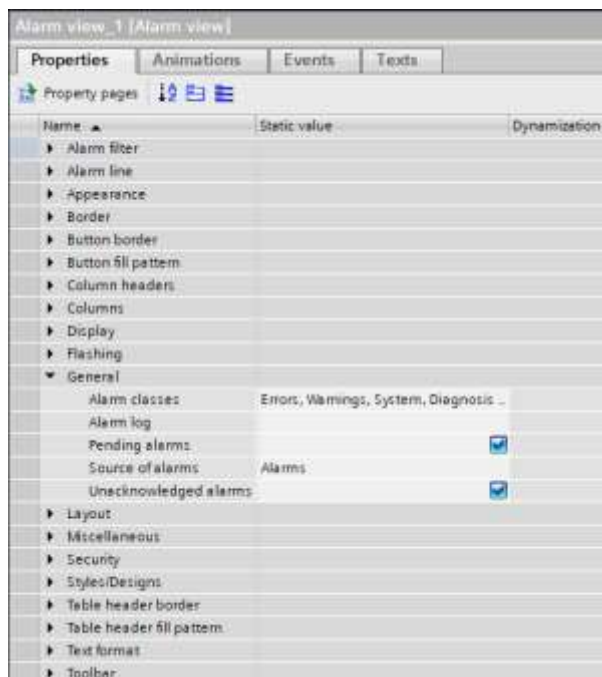


Рис. 7.15 – Налаштування властивостей елемента Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.4 Тестування системи керування

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

Відображення екранів виконується в режимі симуляції в середовищі Win CC Runtime Advanced, куди після компіляції завантажуюмо проект HMI.

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

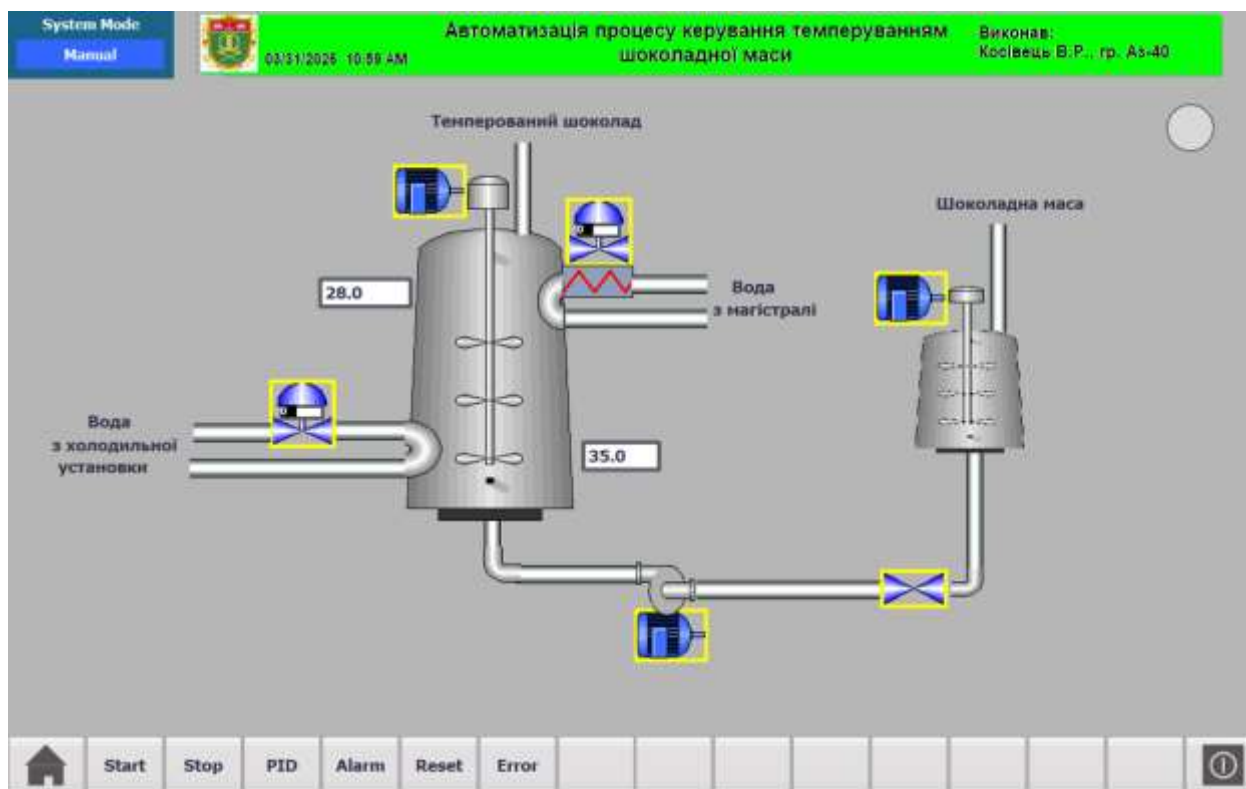


Рис. 7.16 – Схема установки в ручному режимі

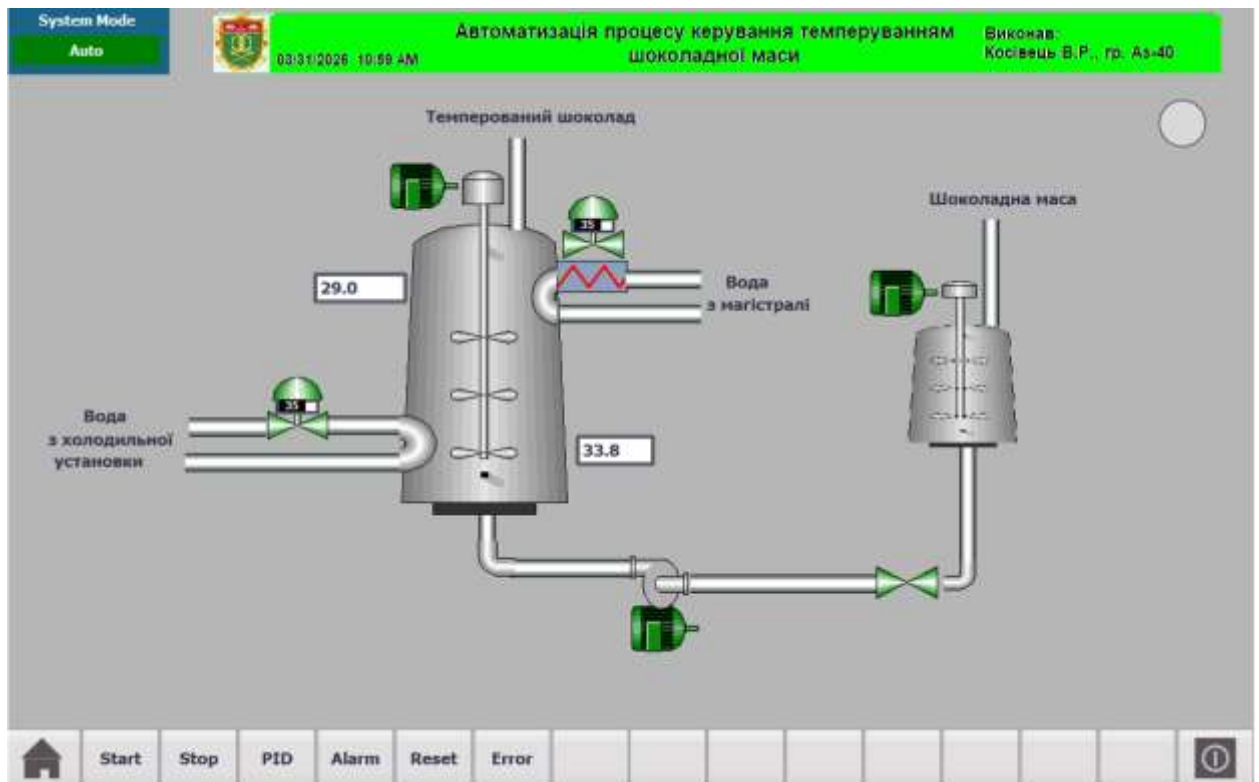


Рис. 7.17 – Схема установки в автоматичному режимі

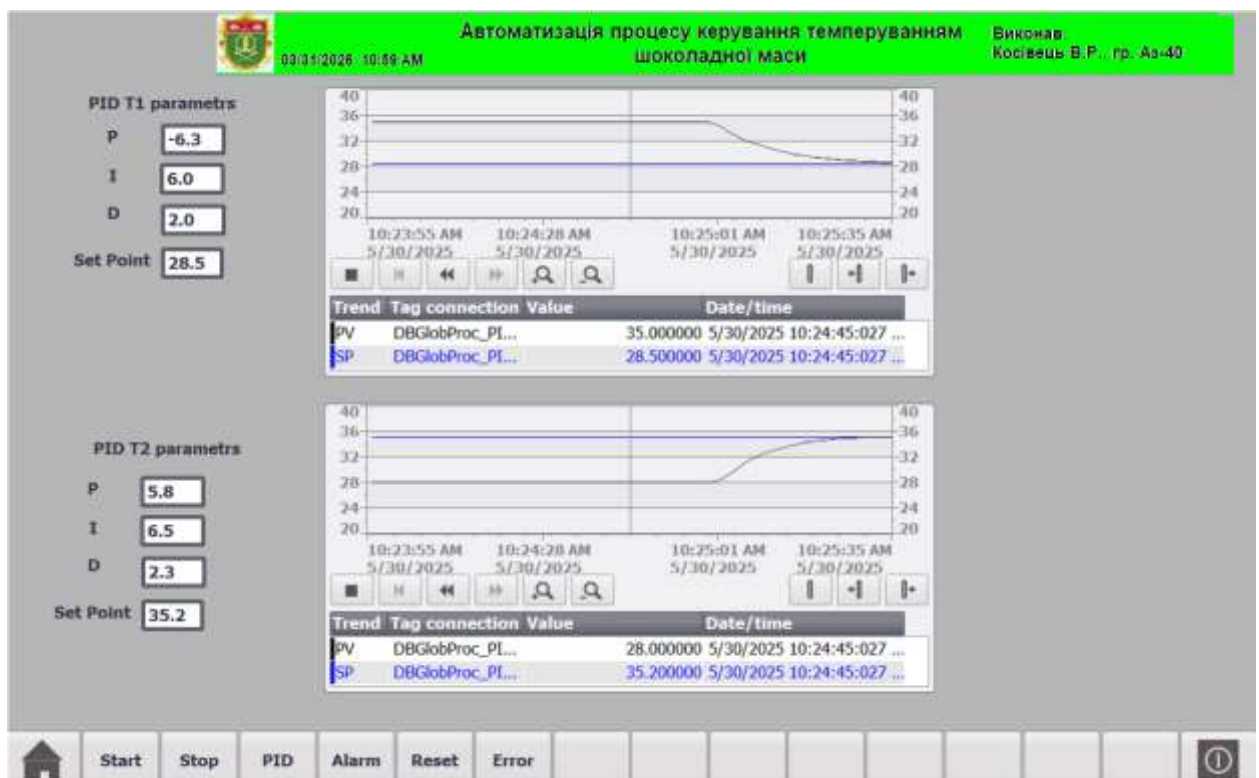


Рис. 7.18 – Екран PID в тестовому режимі



Рис. 7.19 – ЕкранAlarms в тестовому режимі
при імітації несправності

7.5 Висновки за розділом

Розроблено інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом темперування шоколадної глазури в машині Турботемпер. 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.

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

8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці

8.1 Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення

Основними характеристиками процесу темперування шоколаду є температури шоколадної маси при її охолодженні і нагріванні.

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 підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 3 – принципову електричну схему підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 4 – принципову електричну схему підключення до блоку аналогових входів ПЛК;
- 5 – принципову електричну схему 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 SS на DIN-рейку 35 мм. Шафа оператора SA знаходиться у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площі шафи оператора 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 1214, що реалізує основні функції контролю та регулювання, оснащений інтерфейсом PROFINET.

Всі модулі вводу/виводу серії SIMATIC S7-1200 та CPU монтуються на DIN-рейку 35 мм в шафі оператора SA. 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 (струм, напруга – модуль SM 1231 AI 4 x 13 bit (6ES7 231-4HD32-0XB0) та модуль SM 1232 AQ 4 x 14 bit (6ES7 232-4HD32-0XB0);
- опитування стану дискретних входів, вбудованих в CPU 1214C (6ES7 214 - 1BG40-0XB0) та вивід із вбудованих дискретних виходів сигналів керування.

Взаємодія контролера і панелі оператора здійснюється по мережі PROFINET. Для керування температурною установкою 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 та специфікацій на технічні засоби системи

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 також струмові (4...20mA DC) і сприймаються виконавчими механізмами.

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

1 – керування та контроль стану ЕД М1;

2 – керування та контроль стану ЕД М2;

3 – керування та контроль стану ЕД М3;

4 – регулювання температури шоколадної маси за рахунок зміни електричної потужності, яка змінює нагрів ТЕНів;

5 – регулювання температури шоколадної маси за рахунок зміни витрат охолоджуючої води;

6 – керування та контроль стану відсічного клапану подачі шоколадної маси від змішувача;

7 – контроль тиску води в магістралі.

Реалізована функція передпускової сигналізації, та функція інтерфейсного зв'язку ПЛК панеллю оператора.

У контурах 1, 2, 3 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 4 реалізована система регулювання температури шоколадної маси. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем ТУ/4 пропорційний температурі сигнал струму 4...20 mA DC подається на регулятор ТС/4, програмно реалізований в ПЛК, який формує керуючий вплив у вигляді струму 4...20 mA DC, що подається на регулюючий

клапан TCV/4. В контурі передбачена функції ручного задатчика і індикації регульованої змінної НІС/4, які реалізовані в панелі оператора.

Контур 5 побудований аналогічно.

В контурі 6 передбачені функції місцевого керування відсічним клапаном TV6, які реалізуються за рахунок технічних засобів, що розміщені у силовій шафі SS, функції дистанційного керування з панелі оператора та функції автоматичного керування у часі по програмі в ПЛК.

В контурі 7 сигнал від датчика-реле тиску води PS/7 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК і дозволяє сформувати функцію індикації PS/8 цього тиску.

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

8.3 Розробка принципових схем

До вбудованих дискретних входів ПЛК CPU 1214C (6ES7 214 - 1BG40-0XB0) по кабелях W5, 6 що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами, що встановлена у силовій шафі SS і забезпечує локальне (місцеве) керування. По кабелю W9, що підключається до клем SA-X1, передається сигнал від датчика-реле тиску PS/8.

На вбудованих дискретних виходах ПЛК формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелям W5, 6, 7, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу SS в схему керування електроприводами. Також до виходу модуля дискретних виходів по кабелю W10, що підключається до клем SA-X1, підключається дзвоник НА, який формує звуковий сигнал. Керування відсічними клапаном TV6 здійснюється шляхом подачі сигналів 0 або 24 V DC на проміжне реле K1.

Модуль аналогових входів SM 1231 AI 4 x 13 bit (6ES7 231-4HD32-0XB0) розміщується на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора SA. До його

аналогових входів за допомогою екранованих кабелів W11, 12, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики з уніфікованим виходом 4...20 mA DC відповідно: датчики температури шоколадної маси TY/4 та TY/5.

Модуль аналогових виходів SM 1232 AQ 4 x 14 bit (6ES7 232-4HD32-0XB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора SA. Аналоговий вихід цього модуля формує сигнали 4...20 mA DC, які за допомогою кабелів W14, W15, що підключаються до клем SA-X1, передає сигнали керування на виконавчий механізм клапану подачі охолоджуючої води TCV5 та на твердотільне реле TCV4.

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

8.4 Охорона праці

В цьому підрозділі проідентифікуємо потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що можуть виникнути при експлуатації установки. Наведемо їх гранично-допустимі концентрації з посиланням на нормативні акти, в яких вони встановлені, та зазначимо наслідки від їх впливу. Зведемо дані у таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
1.	Підвищена або знижена температура повітря робочої зони	21-24 °C	Стан втоми, перегрів або переохолодження організму
2.	Підвищена або знижена рухливість повітря	0,2-0,4 м/с	Простудні захворювання, перегрів організму
3.	Підвищена або знижена вологість повітря	65-75%	Ревматичні, алергічні, захворювання

Таблиця 8.1 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
4.	Недостатня освітленість робочої зони	КПО -1,2%,Е – 200 лк.	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
5.	Підвищений рівень шуму на робочому місці	80 дБА	Захворювання органів слуху
6.	Підвищений рівень вібрації на робочому місці	0,028 м/с x 10 ⁻² /75дБ (загальна вібрація); 2 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	п+: 1500-3000 одиниць/см ³ ; п-: 3000-5000 одиниць/ см ³	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
12.	Канцерогенні, токсичні, мутагенні речовини (озон, оксид азоту, оксид вуглецю, толуол, ксилол, бензол, ізооктан тощо.)	Озон - 0,1 мг/м ³ ; оксид азоту – 5 мг/м ³ ; бензол – 15/5 мг/м ³ ; ксилол – 50 мг/м ³ ; толуол – 50 мг/м ³ ; оксид вуглецю – 20 мг/м ³ .	Біохімічні зміни в організмі
13.	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
14.	Локальні перенавантаження м'язів кистей рук	-	Тунельний синдром
15.	Монотонність праці	-	Стан втоми, головний біль

Категорії приміщень об'єкту автоматизації були визначені в розділі 5.

АРМ оператора передбачає роботу з панеллю оператора, за допомогою якої він спостерігає за роботою установки, а також має можливість керувати установкою в дистанційному або автоматичному режимі. На екрані панелі всі прилади установки мають свої умовні позначення та мають можливість змінювати колір при зміні стану. При появі аварії чи блокуванні в установці, інженер має можливість побачити місце, в якому з'явилася аварія, та усунути помилку.

Так як автоматизоване робоче місце розташоване у приміщенні, забезпечується відповідність усіх елементів робочого місця:

- площа на одне робоче місце становить, 10,0 м², а об'єм - 25,0 м³;
- норма: площа – 6,0 м², об'єм - 20,0 м³.
- інженер сидить за стандартним столом на м'якому кріслі;
- ЖК монітор відображає всю необхідну інформацію;
- трудові операції виконуються виключно на робочому місці;
- на робочому місці добре освітлення, вікно знаходиться з правого боку, на столі знаходиться світильник.

Визначимо категорію робіт за ступенем важкості. Оператор АРМ виконує роботу в положенні сидячі, що пов'язане з постійним спостереженням (таблиця 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
2	Операторський пункт	Холодний	Легка 1а	23-25	40-60	0,1

Зорову роботу, яку на АРМ виконує оператор , відповідає наступним розрядам: Б-2 (робота з дисплеєм), А-2 (робота з документами). Забезпечення нормованих значень КПО та освітлення на АРМ оператор досягається за рахунок:

- бокового одностороннього розташування вікон;
- фарбування стелі та стін приміщення у світлі кольори;
- планове очищення скла віконних проїомів;
- застосування систем комбінованого освітлення.

Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення наведені у таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення

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

На кожному технологічному об'єкті для забезпечення нормальної експлуатації засобів автоматизації повинні бути затверджені робочі експлуатаційні інструкції та виконавчі схеми електричних і трубних з'єднань апаратури. Перелік інструкцій і схем затверджується головним інженером підприємства.

Пуск і експлуатація технологічного та енергетичного обладнання з несправними та відключеними КВПіА, системою технологічної захистів і пристроями необхідними для експлуатації обладнання в режимі ручного керування, забороняються. У процесі пуску і зупинки устаткування в режимі ручного керування необхідно стежити за проходженням відповідних операцій

за показаннями контрольно-вимірювальних приладів. При порушенні встановленої послідовності, тривалості операцій і відхиленні параметрів від заданих слід негайно зупинити обладнання і повернути його в початковий стан.

Реле й засоби захисту, пристрої технологічної автоматики, а також прилади, за якими ведеться контроль за роботою обладнання повинні бути опломбовані. При необхідності проведення будь-яких робіт на панелях, в щитах і ланцюгах захисту і електроавтоматики умови ввімкненого основного обладнання слід вжити заходів обережності проти помилкових дій в результаті помилок персоналу. Виконання цих робіт без виконавчих схем (по пам'яті), а також без заданих обсягів і послідовностей операцій забороняється. Після проведення робіт у вторинних ланцюгах слід перевірити справність цих ланцюгів і правильність їх приєднання шляхом випробування пристрою (схеми) в дії безпосередньо або побічно.

Безпека обслуговуючого персоналу і сторонніх осіб повинна забезпечуватися шляхом застосування належної ізоляції, дотримання відповідних відстаней до струмоведучих частин або шляхом їх закриття, огороження застосування блокування апаратів, заземлення або занулення корпусів електроустаткування і елементів електроустановок, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

Монтажні ремонтні роботи в електричних мережах і пристроях або поблизу них, також роботи по приєднанню і від'єднанню проводів повинні проводитися тільки при знятій напрузі.

Засоби автоматизації з джерелами електроенергії, які знаходяться під напругою або на які в будь-який момент може бути подана напруга, вважаються чинними електроустановками і на них поширюються правила по техніки безпеки. Слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками, викрутки, кліщі, плоскогубці та ін. широко застосовуються при роботах без зняття напруги в електроустановках напругою $\sim 220\text{В}$ / $\sim 380\text{В}$. В якості

додаткових засобів захисту застосовуються діелектричні рукавички, діелектричні калоші і діелектричні килими.

Забороняється проводити на ходу, без зупинки машин і механізмів, чищення і змащення рухомих частин, ремонт і заміну окремих деталей.

Всі датчики повинні бути справними, мати чітке клеймо із зазначенням дати перевірки та опломбованими. Забороняється проведення ремонтних робіт на апаратах і комунікаціях, які знаходяться під тиском, на робочому і холостому ходу, наповнених робочими газами, парою, рідинами і т.д.

Перед ремонтом обладнання, механізмів, зчеплених з електродвигунами, обов'язково повинна бути розроблена електрична схема і вивішений попереджувальний плакат «Не включати, працюють люди!».

Перед ремонтом необхідно переконатися в наявності заглушок на вході і виході газу або рідини з обладнання і комунікацій. Заглушки встановлюють з хвостиками, щоб їх можна було бачити. Запобіжники в пристроях автоматики необхідно знімати тільки при відключеному напрузі. Кожен робітник повинен пам'ятати, що електричний струм небезпечний для життя: сила струму 0,1А - смертельна для людини.

Захисного заземлення підлягають металеві неструмоведучих частини електрообладнання, які внаслідок несправності можуть виявитися під напругою і до яких можливий дотик людей. При цьому в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, а також в зовнішніх пристроях заземлення обов'язково при номінальній напрузі вище 36 В змінного струму і 110 В постійного струму. При напрузі 500 В і вище змінного і постійного струму заземлення обов'язково в усіх випадках, а у вибухонебезпечних приміщеннях захисне заземлення здійснюється при будь-яких напругах змінного і постійного струму.

Відповідно до типових правил пожежної безпеки організація пожежної безпеки покладається на керівників об'єктів, які зобов'язані:

- організувати на підвідомчих об'єктах вивчення і виконання типових правил усіма працівниками підприємства;

- організувати проведення протипожежного інструктажу і заняття з пожежно-технічного мінімуму;
- встановити у всіх приміщеннях підприємства строгий протипожежний режим і контролювати його дотримання;
- періодично перевіряти стан пожежної безпеки об'єкта, наявність і справність технічних засобів боротьби з пожежею.

Пожежну безпеку окремих підрозділів підприємства (цехів, лабораторій, майстерень, складів і т.п.) забезпечують їх безпосередні керівники, які зобов'язані:

- забезпечити дотримання на підпорядкованих їм ділянках встановленого протипожежного режиму;
- стежити за справністю виробничого обладнання та негайно вживати заходів до усунення несправностей, що призводять до пожежі;
- стежити за тим, щоб після закінчення роботи прибиралися спаленні відходи, відключалися електроприймачі;
- забезпечити постійну готовність до дії засобів пожежогасіння, зв'язку та сигналізації.

Усі робітники і службовці промислових підприємств проходять спеціальну протипожежну підготовку, яка складається з протипожежного інструктажу (первинного і повторного) і занять з пожежно-технічного мінімуму, що проводяться за спеціальною програмою.

Для кожного цеху, майстерні та інших об'єктів повинні бути розроблені протипожежні інструкції, погоджені з пожежною охороною підприємства або з місцевими органами державної пожежної охорони. У цих інструкціях визначаються місця і порядок утримання засобів пожежогасіння, пожежної сигналізації і зв'язку; обов'язки працівників при виникненні пожежі, правила виклику пожежної команди, зупинки і відключення устаткування.

У приміщеннях і на території підприємства, як правило, куріння дозволяється тільки в спеціально відведених для цього місцях. Забороняється застосування відкритого вогню (паяльні лампи, факели та ін.) для обігрівання

трубопроводів із замерзлими або застиглими рідинами. Забороняється захращувати підходи до технологічного устаткування, засобів зв'язку і пожежогасіння, а також проходи і виходи з приміщення.

На кожному об'єкті повинні бути схеми пожежного водопроводу із зазначенням місць встановлення пожежних кранів і гідрантів, місця їх установки повинні бути позначені спеціальними значками і написами «ПК» і «ПГ».

На підприємствах встановлюється електрична пожежна сигналізація, яка служить для швидкого сповіщення служби пожежної охорони про яка виникла пожежі в будь-якому приміщенні або спорудженні підприємства. Особливо небезпечні виробництва мають бути оснащені засобами автоматичного пожежогасіння: пінного, водяного, порошкового.

8.5 Висновки за розділом

В ході виконання розділу було розроблено варіант комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1200.

Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу темперування шоколадної маси. 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.

Висновок

В ході виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було розглянуто технологію виробництва шоколадної глазури і детально досліджено та процес неперервного темперування, що є складовою цього виробництва. Технологічний процес темперування є одним з ключових процесів виробництва шоколадних мас та шоколадної глазури. Підвищення ефективності саме цього процесу здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому саме процес темперування було обрано в якості об'єкту для модернізації системи керування. Провівши аналіз господарської діяльності підприємства і ходу технологічного процесу, можна зробити висновок, що саме на цій ділянці технологічної схеми, можна істотно змінити техніко-економічні показники виробництва в цілому, такі як зменшення втрат від браку готової продукції.

Виходячи з вище викладеного, при впровадженні для процесу виробництва шоколадної глазури модернізованої системи керування на базі мікропроцесорної техніки, яка буде ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися: зниження витрат електроенергії та витрат сировини. Для цього слід буде поліпшити якість регулювання температури, удосконалити існуючі алгоритми логічного керування, замінити існуючу елементно-технічну базу на більш нові засоби керування.

Була проведена ідентифікація моделі процесу темперування шоколаду, як об'єкта керування. Були ідентифіковані канали управління та перехресні канали, в результаті чого було з'ясовано, що всі вищезгадані канали мають статичні властивості, тобто властивостями самовирівнювання. Це пов'язано з тим, що в темперуючій машині протікають процеси, які за своєю природою мають такі властивості. При складанні структурних схем моделювання та їх реалізації були отримані результати, які мають достатній ступінь відповідності реальним передаточних функцій, що свідчить про правильність проведення параметричної ідентифікації моделей каналів ОК.

Задача побудови системи автоматичного регулювання вирішувалася у два етапи. Спочатку було проведено синтез та аналіз САР базової структури, а потім проведено підвищення динамічної точності цієї САР шляхом забезпечення автономності каналу регулювання температури підігрівання шоколадної глазури.

САР з ПД-регуляторами в перехідних режимах задовольняє гранично припустимим вимогам, а САР з ПІ-регулятором не задовольняє цим вимогам за часом перехідного процесу.

І САР з ПІ-регулятором, і САР з ПД-регулятором є грубими.

За усіма показниками якості САР з ПД-регуляторами є кращою, ніж САР з ПІ-регуляторами. Тому в подальших дослідженнях в якості базового алгоритму регулювання будемо застосовувати ПД-закон регулювання.

САР підвищеної динамічної точності побудована на принципом забезпечення автономності контуру регулювання температури підігрівання шоколадної маси T_2 від контуру регулювання температури охолодження T_1 .

САР автономної структури є грубою, тому що в умовах 20%-ї варіації параметрів ОК ці САР дають перехідні процеси, що сходяться.

У порівнянні з САР базової структури з ПД-регуляторами САР автономної структури майже не дає покращення за прямими показниками якості перехідних процесів. За критерієм оптимальності САР автономної структури дає покращення на 6,5%.

В ході розробки алгоритмів логічного керування для темперування шоколадної глазури в турботемпермашині було складено регламент функціонування та алгоритм автоматичного керування циклом роботи темпермашини, розроблена функціональна логічна схема.

Було проведено вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити керування процесом темперування шоколадної маси. 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 S7-1200 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи.

Були визначені процесорний блок та блоки вводу виводу фірми Siemens сімейства S7-1200, проведено їх конфігурування.

Розроблені програми логічного керування технічними засобами та регулювання температур шоколадної маси із використанням бібліотечних функціональних блоків.

Проведено тестування цих програм, яке засвідчило їх відповідність алгоритмам.

Розроблено інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом темперування шоколадної глазурі в машині Турботемпер. 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.

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

Розроблено варіант комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1200.

Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу темперування шоколадної маси. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

Опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування процесом.

Перелік джерел

1. Дорохович А. М. Технологія шоколаду: Навч. посіб. – К.: НУХТ, 2014. – 367 с.

2. <https://sollichna.com/product/turbotemper-e-type-te-te-d/> - офіційний сайт компанії Sollich.

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

4. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» для студентів, які навчаються за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. Укл. В.А. Хобін. – Одеса: ОНАХТ, 2020. – Ч. 1. – 110 с.

5. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» для студентів напряму підготовки 6.050202 денної та заочної форм навчання. В.А. Хобін. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – Ч. 2. – 72 с.

6. Муратов В. Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Навчальний посібник для студентів спеціальності 7.092500 «Автоматизоване управління технологічними процесами». – К.: Освіта України, 2016. – 286 с.

7. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання / За ред. В.А. Хобіна - Одеса: ОНТУ, 2024 р. – 47 с.

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

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

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

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

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

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

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

15. Трегуб Віктор Григорович Проектування систем автоматизації [Текст] : навч. посіб. / В. Г. Трегуб ; Нац. ун-т харч. технологій. — Київ : Ліра-К, 2017. — 344 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 341.

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

17. Національний стандарт України «Автоматизація технологічних процесів. зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах» ДСТУ Б А.2.4-16:2008.

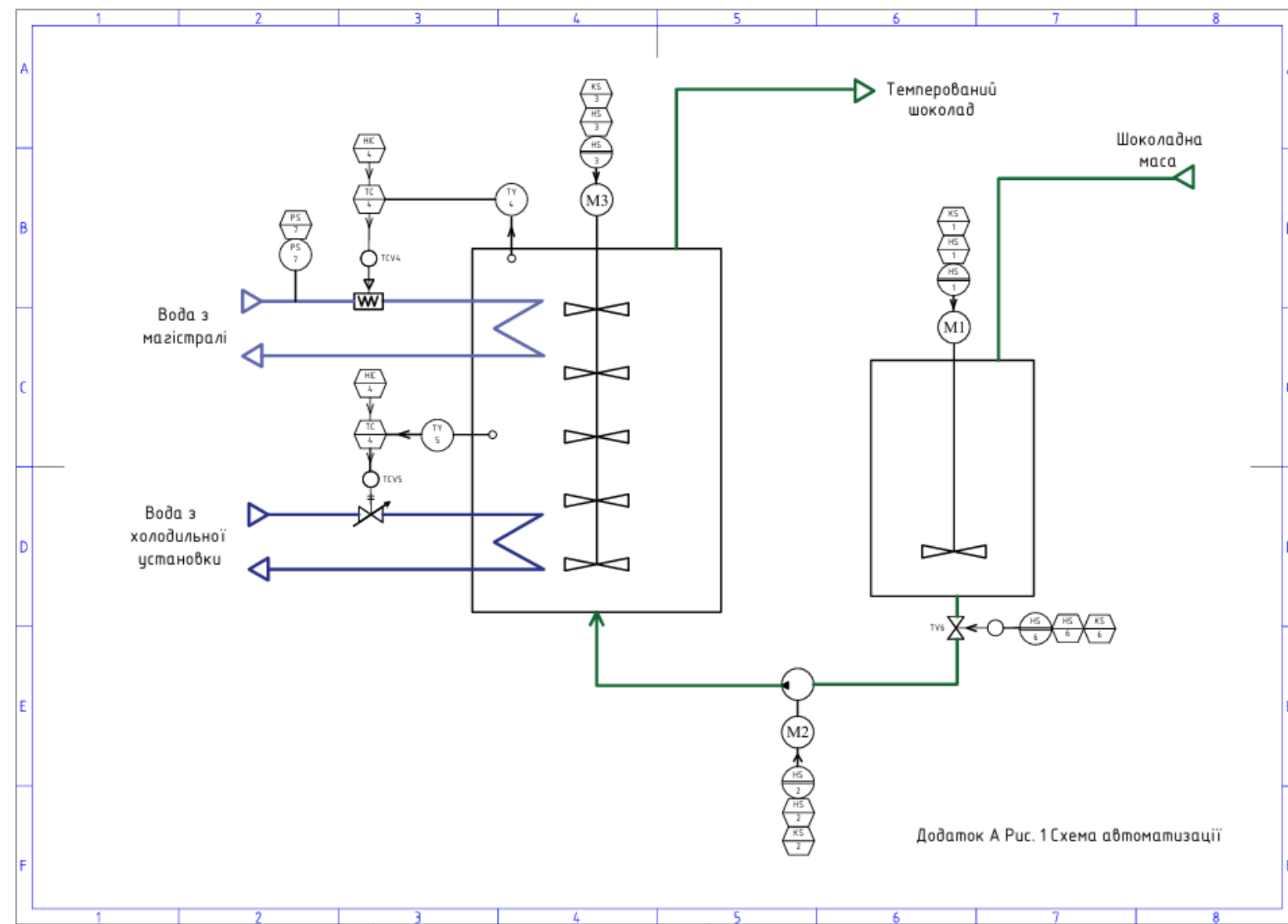
18. ДСТУ 3008:2015 Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ, ДП УкрНДНЦ, 2016. 31 с.

Додатки

ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації

Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

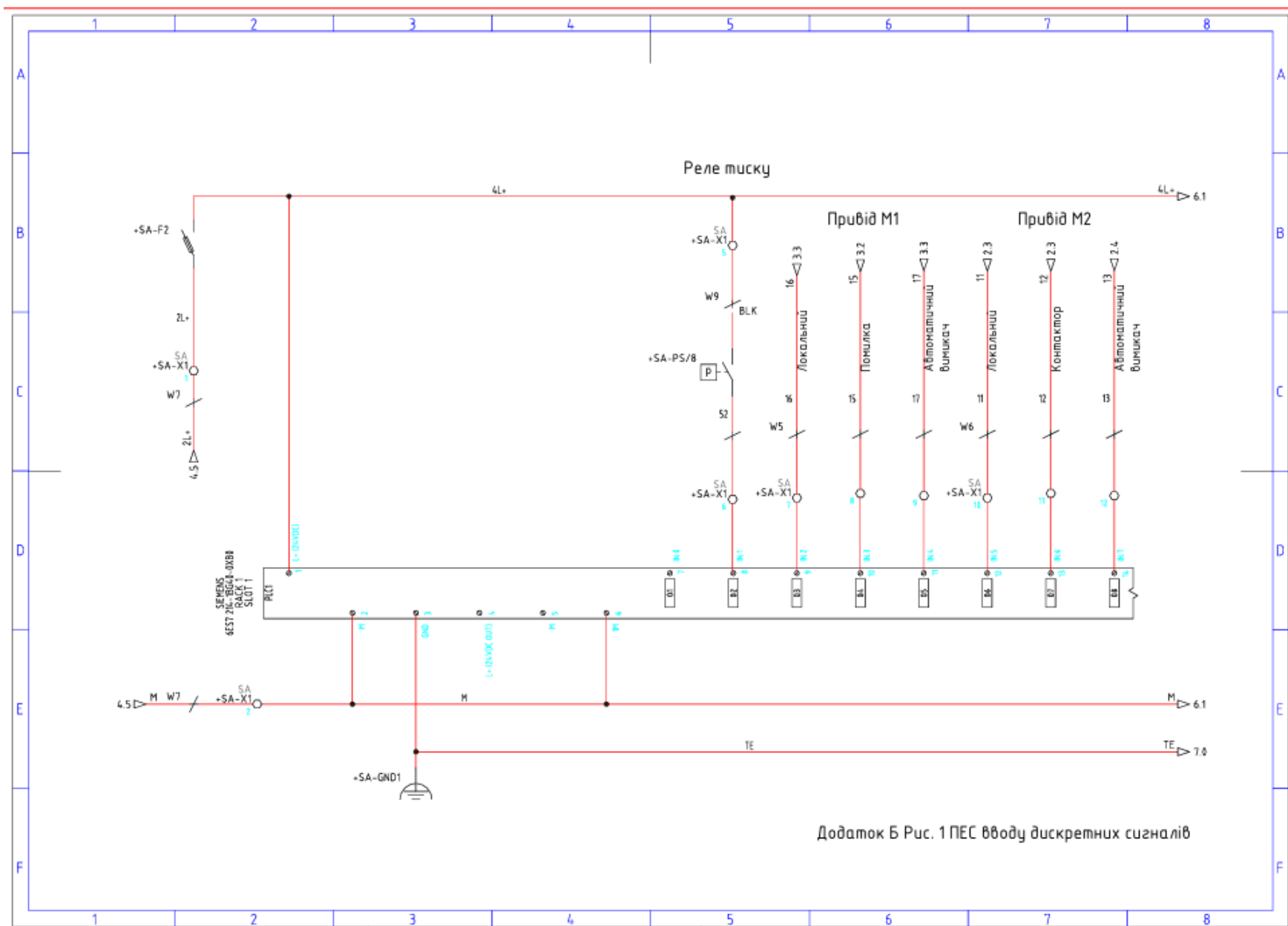
Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
TY/4 TY/5	Датчик температури Omnigrad T TST487	2	
PS/7	Реле тиску RT 200L	1	
TCV/4	Твердотільне реле RN 1F12I30	1	
TCV/5	Регулюючий клапан Belimo R2050-40-S4 з електроприводом Belimo LR24A-SR	1	
TV/6	Електромагнітний клапан CEME 8617	1	
	<u>Прилади у шафі оператора</u>		
TC/4 TC/5 KS/1 KS/2 KS/3	Контролер програмований SIMATIC S7-1200, CPU 1214C (6ES7 214-1BG40-0XB0))	1	
HIC/4 HIC/5 HC/1 HC/2 HC/3 HS/6 HS/7 PS/8	Панель оператора TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	
HS/6	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	2	
HS/7	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	2	
HC/1	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	3	
HC/2	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	3	
HC/3	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	3	



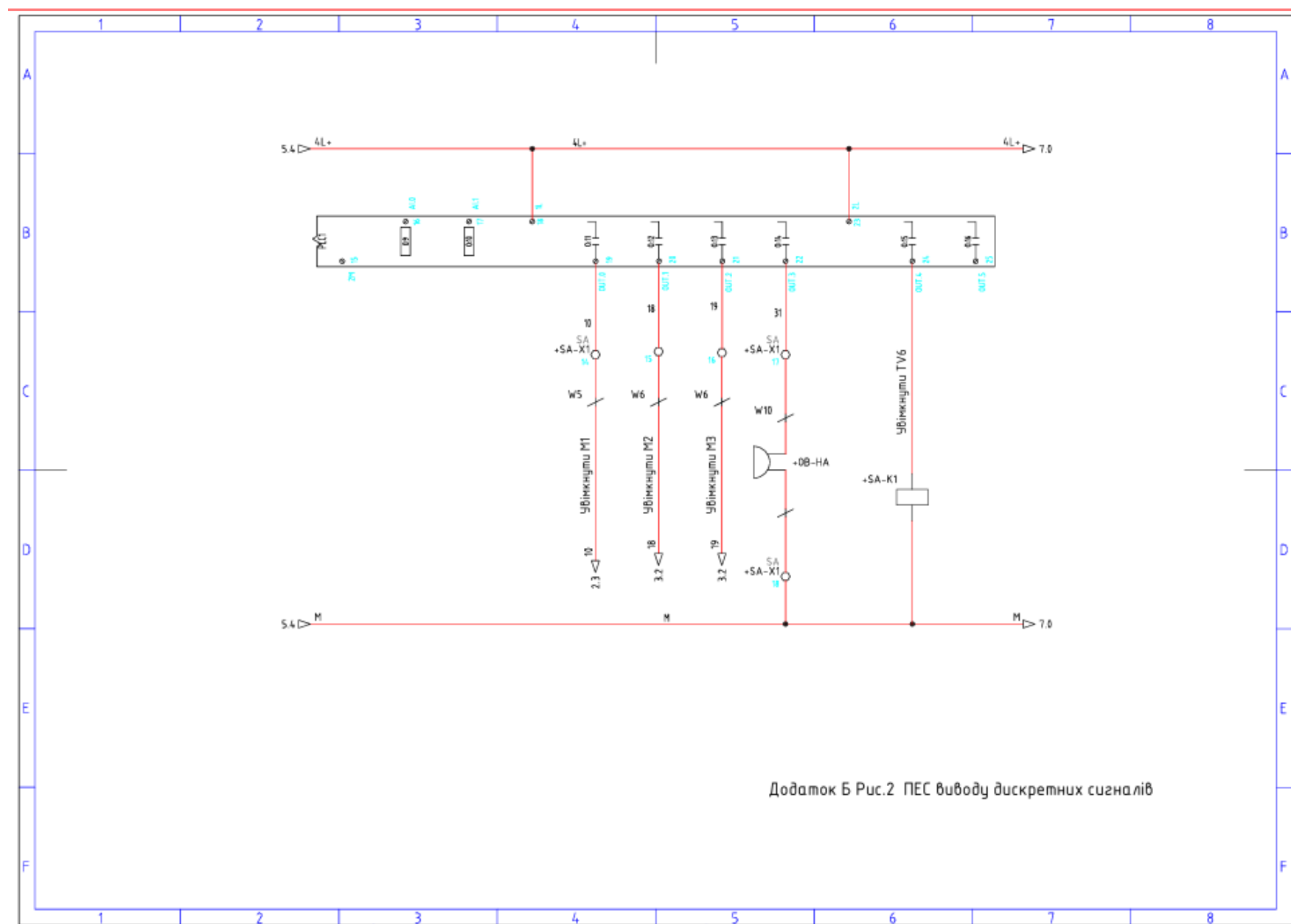
ДОДАТОК Б Документація до принципової електричної схеми

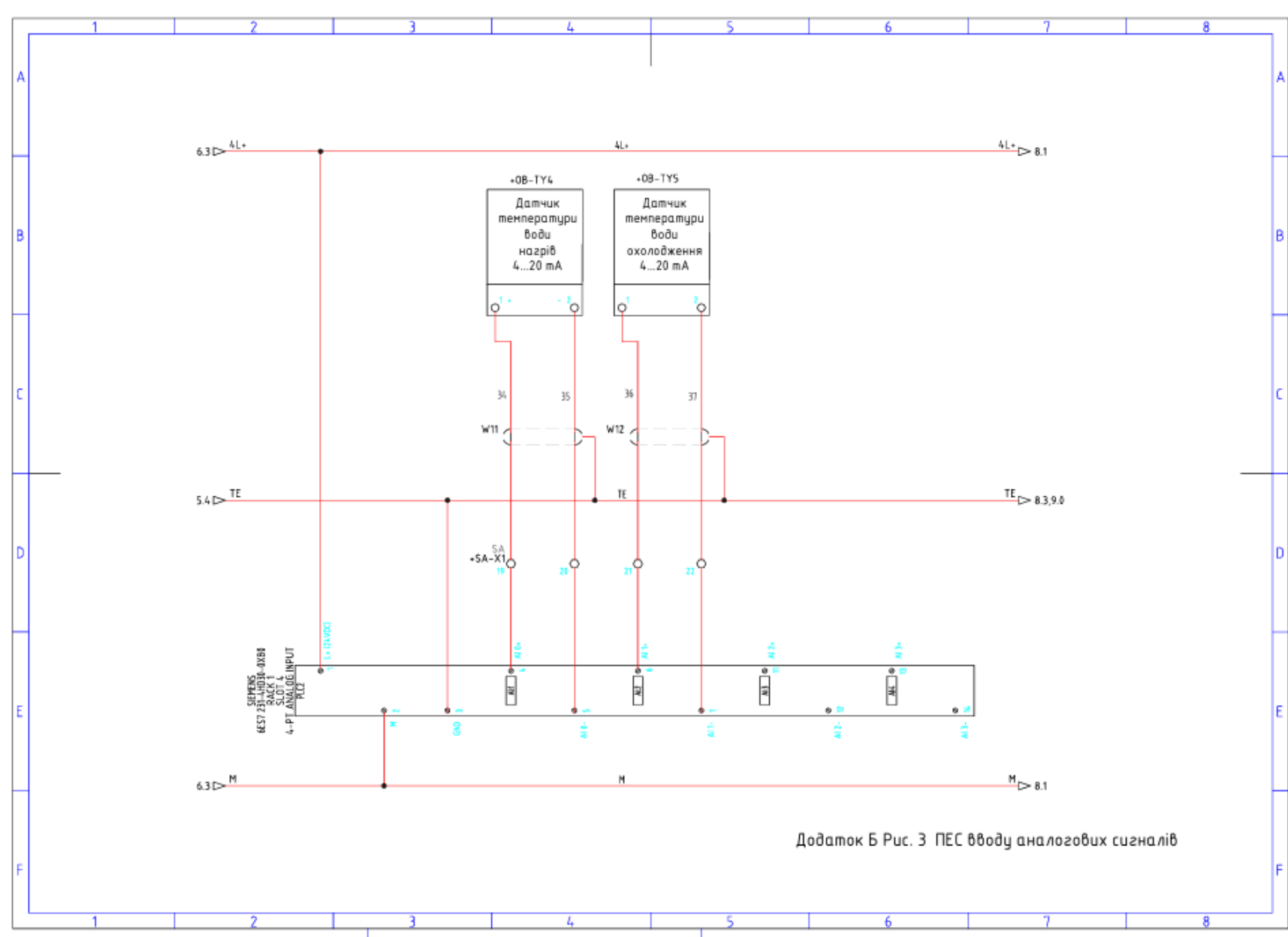
Таблиця Б1 – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми

Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>DI</u>		
PLC1	CPU 1214C (6ES7 214-1BG40-0XB0))	1	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
PS/7	Реле тиску RT 200L	1	
	<u>DO</u>		
PLC1	CPU 1214C (6ES7 214-1BG40-0XB0))	1	
HA	Дзвоник електричний, живл. 24 V DC	1	
K1	Реле проміжне Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24V DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	1	
	<u>AI</u>		
PLC2	Модуль аналогового вводу SM 1231 AI 4 x 13 bit (6ES7 231-4HD32-0XB0)	1	
TY/4 TY/5	Датчик температури Omnigrad T TST487	2	
	<u>AO</u>		
PLC3	Модуль аналогового виводу SM 1232 AQ 4 x 14 bit (6ES7 232-4HD32-0XB0)	1	
TCV/5	Регулюючий клапан Belimo R2050-40-S4 з електроприводом Belimo LR24A-SR	1	
TCV/4	Твердотільне реле RN 1F12I30	1	



Додаток Б Рис. 1 ПЕС вводу дискретних сигналів





Додаток Б Рис. 3 ПЕС вводу аналогових сигналів

