

Міністерство освіти і науки України

Одеський національний технологічний університет

Кафедра Автоматизації технологічних, електромеханічних і робототехнічних систем



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**на тему: «Автоматизація процесу керування сушінням солоду в шахтній
солодосушарці»**

Здобувач; Любинський А.А.

4 курсу, групи А-40

Керівник: доц. Муратов В.Г.

Консультант:

доц. Світий І.М.

доц. Левінський В.М.

доц. Степанов М.Т.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту.

Рішення кафедри від _____, 2026 р., протокол № ____.

В.о. завідувача кафедри АТЕіРС _____ О.М. Жигайло
(підпис)

Одеса – 2026 рік

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 процесів 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. Світий

«5» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач **Любинський Артем Андрійович**

1. Тема роботи **«Автоматизація процесу керування сушінням солоду в шахтній солодосушарці»**
2. Керівник кваліфікаційної роботи Муратов Віктор Георгійович, 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	Муратов В.Г., доц. каф. АТП і РС		
Розділи 2, 3	Світий І.М., доц. каф. АТП і РС		
Розділ 4	Світий І.М., доц. каф. АТП і РС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТП і РС		
Розділ 6	Степанов М.Т., доц. каф. АТП і РС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТП і РС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТП і РС		

7. Дата видачі завдання « 09 » січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач Любинський А.А.

Керівник роботи Муратов В.Г.

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 Любинський А.А.

Прізвище, ініціали

Підпис

Реферат

Кваліфікаційна робота бакалавра Любинського Артема Андрійовича «Автоматизація процесу керування сушінням солоду в шахтній солодосушарці» викладена на 171 сторінках, кількість таблиць 17, рисунків – 136, додатків – 2, джерел з переліку посилань – 21.

В даній кваліфікаційній роботі розглянуто питання модернізації системи автоматичного керування (САК) технологічного процесу сушіння солоду. В якості об'єкта дослідження було обрано процес сушіння солоду в шахтній солодосушарці неперервної дії. Основною метою роботи є підвищення ефективності роботи установки за рахунок зменшення енерговитрат.

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 установки. Програмно-технічну реалізацію процесу проведено на базі контролерно-комп'ютерної мережі, основу якої складає програмований логічний контролер Siemens S7-1500 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: сушіння солоду, шахтна солодосушарка, 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.....	13
1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів.....	13
1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього.....	29
1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК.....	32
1.4 Висновки за розділом.....	34
2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.....	35
2.1 Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання.....	35
2.2 Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта регулювання.....	37
2.3 Ідентифікація моделей збурень об'єкту керування.....	47

2.4 Реалізація математичних моделей у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту-оригіналу.....	53
2.5 Висновки за розділом.....	70
3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.....	71
3.1 Формулювання задач керування, вимог до їх розв'язку і вибір основних принципів побудови автоматичних систем.....	71
3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	74
3.3 Синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності.....	83
3.4 Порівняльний аналіз перехідних процесів у параметрично оптимальних САР базової структури та підвищеної динамічної точності.....	90
3.5 Висновки за розділом.....	92
4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.....	95
4.1 Розробка алгоритмів автоматичного управління нормальним пуском та зупинкою установки.....	95
4.2 Розробка алгоритму автоматичного керування технологічним циклом процесу сушіння солоду.....	97
4.3 Висновки за розділом.....	102
5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.....	103

5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів і місць їх розміщення.....	103
5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	107
5.3 Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу.....	109
5.4 Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	109
5.5 Висновки за розділом.....	115
6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	116
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж.....	116
6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування.....	118
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання.....	126
6.4 Висновки за розділом.....	129
7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	130
7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування.....	130
7.2 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога.....	132
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	132
7.4 Тестування системи керування.....	139
7.5 Висновки за розділом.....	142

8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.....	144
8.1 Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення.....	144
8.2 Розробка схеми автоматизації	146
8.3 Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом	147
8.4 Розробка принципової електричної схеми живлення.....	148
8.5 Розробка принципової схеми мережових підключень.....	148
8.6 Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК.....	149
8.8 Охорона праці.....	150
8.9 Висновки за розділом.....	153
Висновок.....	155
Перелік джерел.....	158
Додатки.....	161
Додаток А Документація до схеми автоматизації	162
Додаток Б Документація до принципової електричної схеми.....	164

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

Україна є одним із великих виробників пивоварного ячменю в Європі, тому має хорошу сировинну базу для солодової промисловості. Частина українського солоду експортується до країн ЄС та інших регіонів світу. Виробники активно співпрацюють із фермерами для вирощування спеціальних сортів пивоварного ячменю.

Основні виробники солоду в Україні:

- [Malteurop Ukraine](#) [1] – один із найбільших виробників солоду в країні, що входить до міжнародної групи Malteurop. Компанія працює в Україні з 2001 року та має солодові заводи в Харкові й Чернігові.
- Оболонь має власний солодовий завод у Хмельницькій області, що забезпечує підприємства корпорації солодом власного виробництва.
- Славутський солодовий завод — один із провідних виробників світлого пивоварного солоду в Україні, значну частину продукції постачає як на внутрішній ринок, так і на експорт.
- [Захід-Солод](#) [2] спеціалізується на виробництві житнього солоду для хлібопекарської промисловості.

Виробництво солоду є важливою складовою української пивоварної та харчової промисловості. Основною сировиною для солоду є пивоварний ячмінь, який проходить кілька технологічних етапів: замочування, пророщування, сушіння та очищення. Отриманий солод використовується для виробництва пива, квасу, віскі, солодових екстрактів і деяких видів хлібобулочних виробів.

Процес виробництва солоду має три ключові етапи:

Замочування (steeping). Зерно насичують водою, щоб “розбудити” його.

Пророщування (germination). Активуються ферменти (переважно амілази), які починають розщеплювати крохмаль.

Сушіння (kilning). Пророщування зупиняють, висушуючи зерно. Саме на цьому етапі формується колір і аромат (від світлого до темного солоду).

Процес сушіння солоду є заключним етапом виробництва солоду і, до того ж, енергетично наймісткішим процесом. Керування процесом здійснюється з використанням традиційної апаратної автоматики. Отже є значний резерв підвищення ефективності процесу за рахунок використання досконаліших алгоритмів керування на базі сучасної елементної бази на основі контролерно-комп'ютерних мереж.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення конкурентоздатності підприємства за рахунок підвищення ефективності процесу сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці шляхом розробки обґрунтованих технічних рішень зі створення модернізованої САР процесом. Для досягнення поставленої мети визначенні завдання:

- проаналізувати процес сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці як об'єкту керування;
- розробити комплекс його моделей як об'єкту регулювання і провести моделювання для підтвердження відповідності отриманих моделей експериментальним даним;
- розробити варіанти алгоритмів регулювання, провести їхню параметричну оптимізацію, порівняльний аналіз САР, що забезпечують підвищену динамічну точність регулювання регламентованих змінних;
- скласти регламент функціонування та алгоритми пуску-зупинки процесу;
- провести вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом;
- розробити технічну структуру мікропроцесорного ядра системи керування процесом сушіння солоду паровій шахтній солодосушарці;
- обрати промисловий контролер та його блоки вводу/виводу;
- розробити програми в середовищі TIAPortal, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання;

– виконати роботи в середовищі SCADA - системи розробити програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесом сушіння солоду паровій шахтній солодосушарці;

– розробити варіант комплекту технічної документації САК.

Рішенню перерахованих вище завдань і присвячена ця кваліфікаційна робота.

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

Солод являє собою зерна злакових культур, пророщених і висушених у спеціальних умовах. Під час пророщування в зерні в сотні разів збільшується ферментативна активність, відбувається гідроліз вуглеводів і білків з утворенням найпростіших речовин: до цукрів і ак. За кількістю утворених екстрактивних речовин судять про екстрактивність солоду.

Види солоду:

ячмінний світлий солод

ячмінний темний солод

карамельний солод

палений солод

високоферментативний солод - діафарин

житній: ферментативний і неферментативний.

Очищення та сортування зерна.

Зернова маса (здебільшого ячмінь), яка надходить на пивоварні та солодовенні заводи, містить домішки та зерна різного розміру, що робить її непридатною для зберігання та солодорації. Тому перед зберіганням і переробкою ячмінь очищають від мінеральних, органічних, шкідливих, зернових і металодомішок. Очищення проводиться двічі - первинне і вторинне. Сортування необхідне через різну водочутливість зерен: дрібні швидше вбирають вологу і розвиваються. Ячмінь сортують на три фракції за товщиною: менше 2,2 мм - III сорт (кормовий), 2,2-2,5 мм - II сорт, понад 2,5 мм - I сорт.

Замочування зерна: мета, процеси та технології.

Мета замочування – зволоження зерна до рівня, оптимального для пророщування. При цьому об'єм зерна збільшується на 35-45 %, вода проникає через кінчики, переважно з боку зародка. Клітинні структури зрілого зерна сильно поглинають воду: гумі речовини - до 800 %, білки - до 180 %, крохмаль - до 70 %, целюлоза - до 30 %.

Етапи та режими замочування: Процес включає миття, видалення неповноцінних зерен, дезінфекцію, зволоження з 7 аеруванням і видаленням CO₂. Замочування починається з миття та дезінфекції для видалення забруднень і мікроорганізмів. Ефективне миття досягається відмоканням та інтенсивним перемішуванням (гідравлічним або пневматичним способом). Домішки, що спливли, і неповноцінні зерна (сплав) видаляються разом із брудною водою. Для дезінфекції застосовують розчини негашеного вапна (1,5-3 кг/т), перманганату калію (10-15 г/м³ води), а також каустичну соду, кислоти, перекис водню тощо. Дезінфекцію проводять після первинного миття. Взимку рекомендується використовувати теплу воду (20-25 °C).

Мета пророщування - накопичення ферментів і проведення процесів гідролізу та синтезу за суворо контрольованих умов: потрібна вологість, регульований доступ кисню, оптимальна температура, контроль активаторів та інгібіторів ферментів, а також необхідний час.

Зміни в зерні. Під час пророщування відбуваються: морфологічні - ріст зародка, корінців, руйнування структури ендосперму; біохімічні - активація ферментів, дихання, розщеплення складних речовин на прості.

Фактори, що впливають на пророщування. Оптимальним вважається холодне пророщування за 12-16°C – воно забезпечує помірний ріст і максимальне накопичення ферментів. За температури вище 20°C зростають втрати через надмірний ріст і розчинення. Для світлого солоду оптимум - до 18°C, для темного - 21-23 °C. Тривалість: світлий солод - 7-8 діб, темний - до 9 діб. При прискорених режимах - 4,5-6 діб.

Вологість. Для нормального пророщування вологість зерна має бути 44-48%. Через щоденні втрати (0,3-1%) зерно зрошують водою, кількість якої розраховується заздалегідь.

Опис технологічного процесу. Ячмінь норією подається на автоматичні ваги а потім в апарат для миття зерна на 4-5 годин. Під час миття зерно дезінфікують розчином KMnO_4 , концентрація якого підтримується за допомогою рефрактометра, розчин готується в змішувачі і потім перекачується в мийний апарат. Після промивання та дезінфекції зерно обполіскують водою. Потім апарат наповнюють свіжою водою й аерують 6-8 годин. Суміш води із зерном надходить у відокремлювач води, а потім на конвеєрну сушарку, де підтримується температура в 25°C . Надалі зерно транспортується на лінію солодоращення. Пристрій солодоростильного апарату складається з пересувної грядки та великого рослинного ящика 50-60 м завдовжки та 3-4 м завширшки. Пророщуваний матеріал вивантажується на першу півдобову ділянку. Двічі на добу грядка переміщається вперед на довжину півдобової ділянки, вологість зерна має бути в межах 50%, а температура 16°C . Перекидач, який дуже дбайливо обробляє свіжопророслий солод, для цього також переміщується двічі на добу від кінця ділянки (тобто від старої грядки) до її початку кінця (до нового завантаження) зі швидкістю 20-30 см за хвилину. Наприкінці пророщення свіжопророслий солод переміщується перекидачем у бетонний лоток, розташований наприкінці ящика, звідки цей солод за допомогою шнека транспортується до норії для подачі на сушарку.

Одним з ключових технологічних процесів виробництва солоду є його сушіння. Технологічна схема процесу сушіння солоду в шахтній солодосушарці наведена на рис. 1.1.

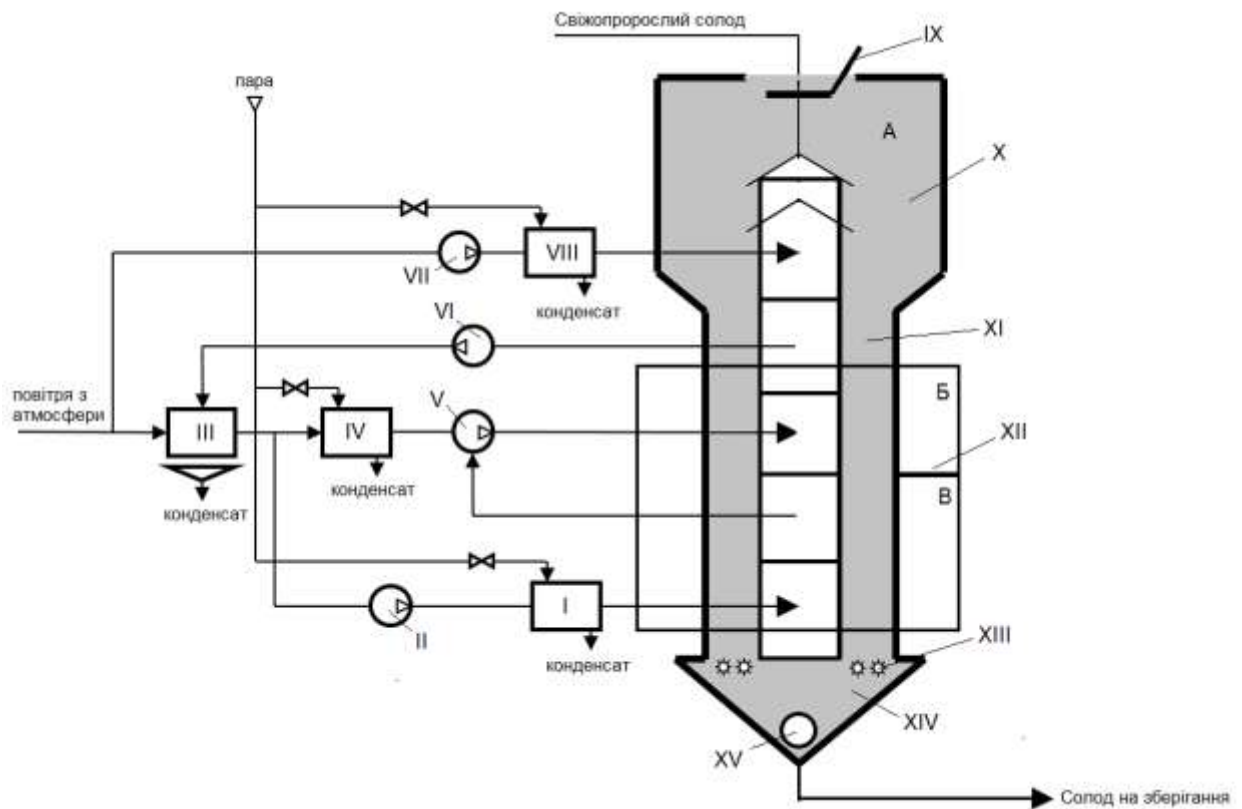


Рис. 1.1 – Схема технологічного процесу сушіння солоду в шахтній солодосушарці: I – калорифер №3; II, V, VII – вентилятори нагнітаючі; III – теплообмінник; IV – калорифер №2; VI – вентилятор витяжний; VIII – калорифер №1; IX – розподільник; X – камера підв'ялювання; XI – завантажувальна шахта; XII – сітчаста сушильна шахта; XIII – розвантажувальний механізм; XIV – приймальний бункер; XV – розвантажувальний шнек; А, Б, В – зони нагрівання.

Сушіння солоду в шахтній солодосушарці здійснюється у процесі його руху по двох ступінчастих вертикальних шахтах на протязі 8 – 12 годин. Свіжопророслий солод відносною вологістю 44...48% поступає через отвір у верхній частині сушарки в камеру підв'ялювання X і розподільником IX рівномірно розподіляється по камері. Із камери підв'ялювання солод поступає у сітчасті вертикальні шахти XII і повільно просувається вниз. На зустріч йому рухається потік нагрітого сушального агента, що поступає в сушарку по трьох каналах і готується калориферами I і IV. Сушальний агент чотири рази

зигзагоподібно проходить через шар солодупри русі знизу вверх. Готовий солод з відотною вологістю до 3% шнеком XV виводиться з сушарки і поступає на зберігання.

Температурний режим в камері підв'ялення 25...30°C, а в трьох зонах сушарки – 65...67°C, 70...80°C, 82...85°C.

Апаратна реалізація процесу може здійснюватися в шахтній солодосушарці ЛСХА-10 (рис. 1.2).

Вертикальна солодосушарка ЛСХА-10 є безперервно діючою установкою з автоматичним регулюванням температури теплоносія. Застосовується на пивоварних заводах для сушіння зеленого солоду за заданим режимом.

Солодосушарка ЛСХА-10 (рис. 1.2) складається з розподільника камери підв'ялювання, камери підв'ялювання, системи продування цієї камери, перехідного пристрою, сушильних шахт, системи подачі агента сушіння з вентиляторами та калориферами, механізму розвантаження. У комплект солодосушарок входять також шафи електроустаткування, КВП та автоматики. Розподільник складається з профільованого щитка, що обертається навколо вертикальної осі. Камера підв'ялювання виготовлена з профільної листової сталі, має дві завантажувальні шахти з двома воронками і забезпечена вентиляційною установкою. В систему продувки камери підв'ялювання входять вентилятор Ц14-46 № 5, калорифер КВС-10-П и система розподільних повітроводов. Для проходу підігрітого повітря в камеру підв'ялювання в бічних стінках завантажувальних шахт і похилих стінок воронок вбудовані штамповані сита. Для з'єднання завантажувальних шахт камери підв'ялювання з сушильними шахтами корпусу сушарки, а також для направлення солоду із завантажувальних шахт в сушильні шахти і рівномірного його розподілу по сушильним шахтам є перехідний пристрій.

Сушильні шахти розміщені у сталевому каркасі із зовнішнім покриттям термоізоляцією. Вертикальні канали призначені для спрямування потоку

агенту сушіння. Шахти складаються з окремих блоків, виготовлених із профільної та листової сталі.

В якості зовнішньої обшивки застосовують тонколистову сталь, яку кріплять з допомогою шурупів до дерев'яних брусків, а їх, в свою чергу, кріплять болтами до зовнішніх щитів солодосушарки. Простір між зовнішніми щитами і стальними листами заповнюють термоізоляцією (пресовані ізоплити товщиною 50 мм із шлаковати або скловати).

Під сушильними шахтами розташований механізм розвантаження, який складається з двох циліндричних барабанів, розташованих по одному під кожною шахтою, приймального корита, приводів барабанів розвантажувальних і розвантажувального шнека. Барабани виготовлені із суцільних труб, до поверхні яких приварені поздовжньо осі барабана вісім куточків, до яких кріпиться прогумова стрічка. Привід розвантажувальних барабанів складається з електродвигуна, черв'ячного редуктора, варіатора та ланцюгової передачі від редуктора до завантажувальних барабанів.

Ланцюговий варіатор приводної колонки має діапазон регулювання, що дозволяє змінювати частоту обертання розвантажувальних барабанів у потрібних межах. Розвантажувальні барабани за допомогою кулачкових напівмуфт можна вмикати окремо. Вимикати розвантажувальні барабани необхідно при увімкненому електродвигуні. Для збору продукту та направлення його до розвантажувального шнека механізм розвантаження має приймальне корито, розташоване під барабанами.

Розвантажувальний шнек призначений для вивантаження висушеного солоду із приймального корита, має індивідуальний привід. Привід розвантажувального шнека складається з електродвигуна, еластичної муфти, черв'ячного редуктора і ланцюгової передачі від редуктора до валу шнека.

Подача агенту сушіння в IV зону здійснюється вентилятором Ц4-70 № 10 з приводом електродвигуна потужністю 13 кВт (частота обертання 1460 об/хв) через клинопасову передачу. Агент сушіння нагрівається у трьох калориферах

КВБ-11-П. Продуктивність вентилятора регулюють засувкою, вбудованою у всмоктувальному трубопроводі.

Агент сушіння подається в ІІІ зону вентилятором Ц4-70 № 10 з приводом електродвигуна потужністю 17 кВт (частота обертання 1450 об/хв) через клинопасову передачу. Повітря нагрівають у калорифері КВБ-11-П, який повітропроводами з'єднує сушарку з вентилятором. Продуктивність вентилятора регулюють засувкою та автоматичним регулятором, вбудованим у всмоктувальному трубопроводі. При експлуатації солодосушарки в умовах підвищеної запиленості повітря на всмоктувальному повітроводі рекомендується встановлювати фільтр для очищення повітря.

Режими сушки світлого солоду в сушарці ЛСХА-10

Початкова температура агента сушки в зонах,

першій – 50°C

другій – 67°C

третьої 81°C

четвертій – 85°C

Вологість зеленого солоду в кінці зон, %

першої – 45%

другої – 12%

третьої – 6%

четвертої – 3%

Тривалість сушки – 15...17 год

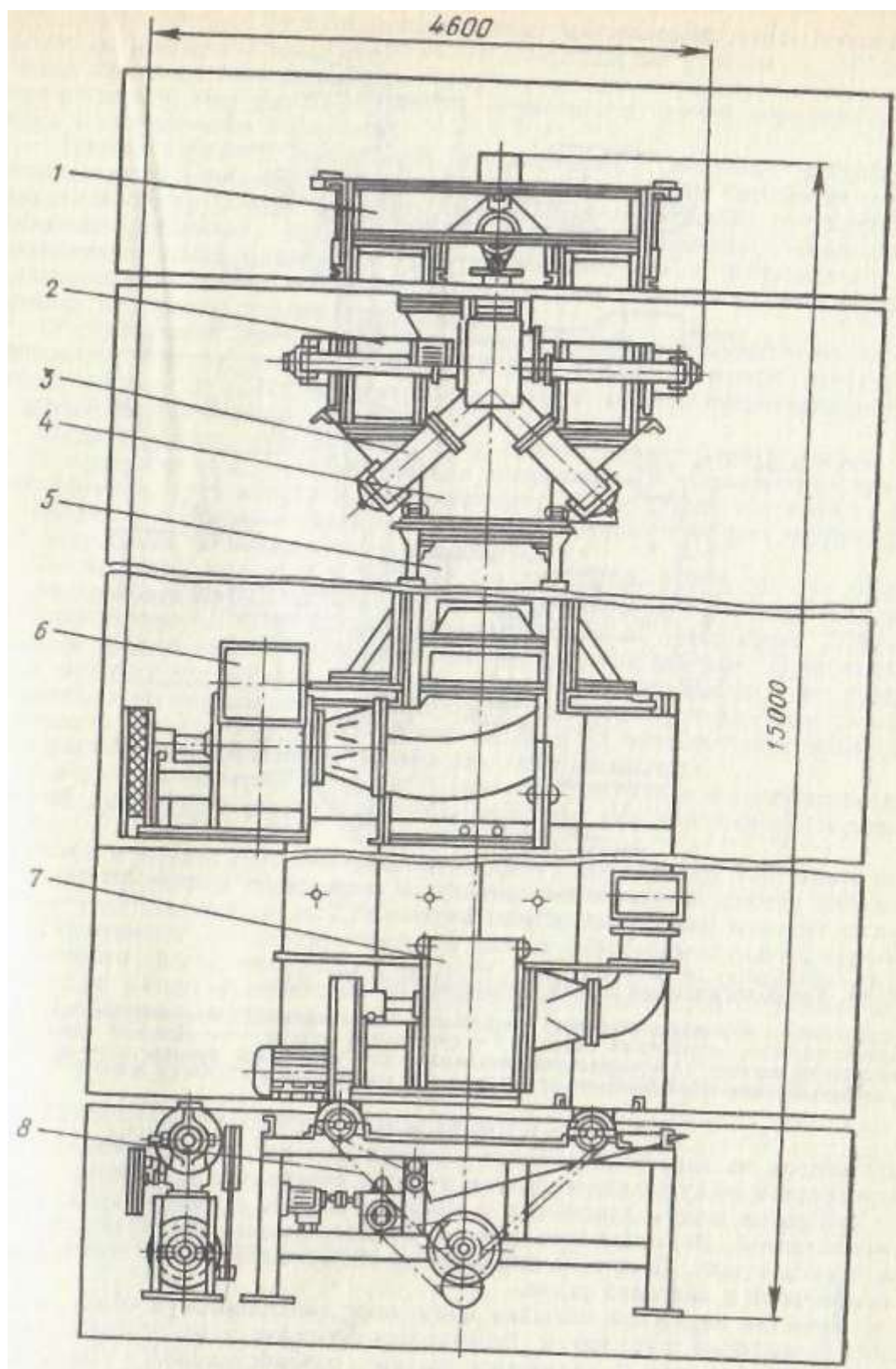


Рис. 1.2 – Конструкція шахтної солодосушарки ЛСХА-10: 1- розподільник камери підв'ялювання; 2 – камера підв'ялювання; 3 – система продувки камери підв'ялювання; 4 – перехідний патрубок; 5 – сушильні шахти; 6, 7 – вентилятори; 8 – механізм розвантаження

Технічні характеристики солодосушарки ЛСХА-10

Продуктивність за сухи солодом – 440 кг/год

Кількість випареної води – 336 кг/год

Число сушильних шахт – 2

Загальний об'єм сушильних шахт – 12,9 м³

Витрати пари тиском 0,294 МПа

у літні умовах (+ 20°C) 603 кг/год

у зимових умовах (– 20 °C) 885 кг/год

Питомі витрати теплоти на 1 кг випареної води

у літні умовах (+ 20°C) 3820 кДж/год

у зимових умовах (– 20 °C) 5660 кДж/год

Поперечний переріз однієї сушильної шахти, мм

верхній – 4008 X 185

нижній – 4008 X 275

Висота сушильної шахти – 9350 мм

Вентилятори Ц4-46 № 5 – 1

Ц 4-70 № 10 – 2

Калорифери КВЗ-10-П – 1

КВФ-10 КВБ-11-П – 4

Тривалість сушки солоду – 15...17 год

Габаритні розміри

довжина (по осі шахти) – 4500 мм

ширина (без урахування вентиляторів) – 2650 мм

висота 15 000 мм

Маса – кг 27 000 кг

Мета ведення процесу сушіння солоду – отримання готового продукту із заданими показниками якості. При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдано тільки тоді, коли технологічний процес має сенс

реалізувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу.

Технологічний процес сушіння солоду доцільно реалізовувати, якщо:

- є достатній запас зеленого солоду на 2 години роботи, тобто, якщо буде запас суміші не менше, чим 880 кг;
- тиск пари в паропроводі повинне бути не меншим 0,25МПа;
- повинна бути електроенергія в колах живлення вентиляторів із середньостатистичними параметрами мережі;
- слід мати місце для відвантаження готового продукту.

Проведемо параметризацію схеми технологічного процесу, загальна характеристика параметрів і їх взаємозв'язків.

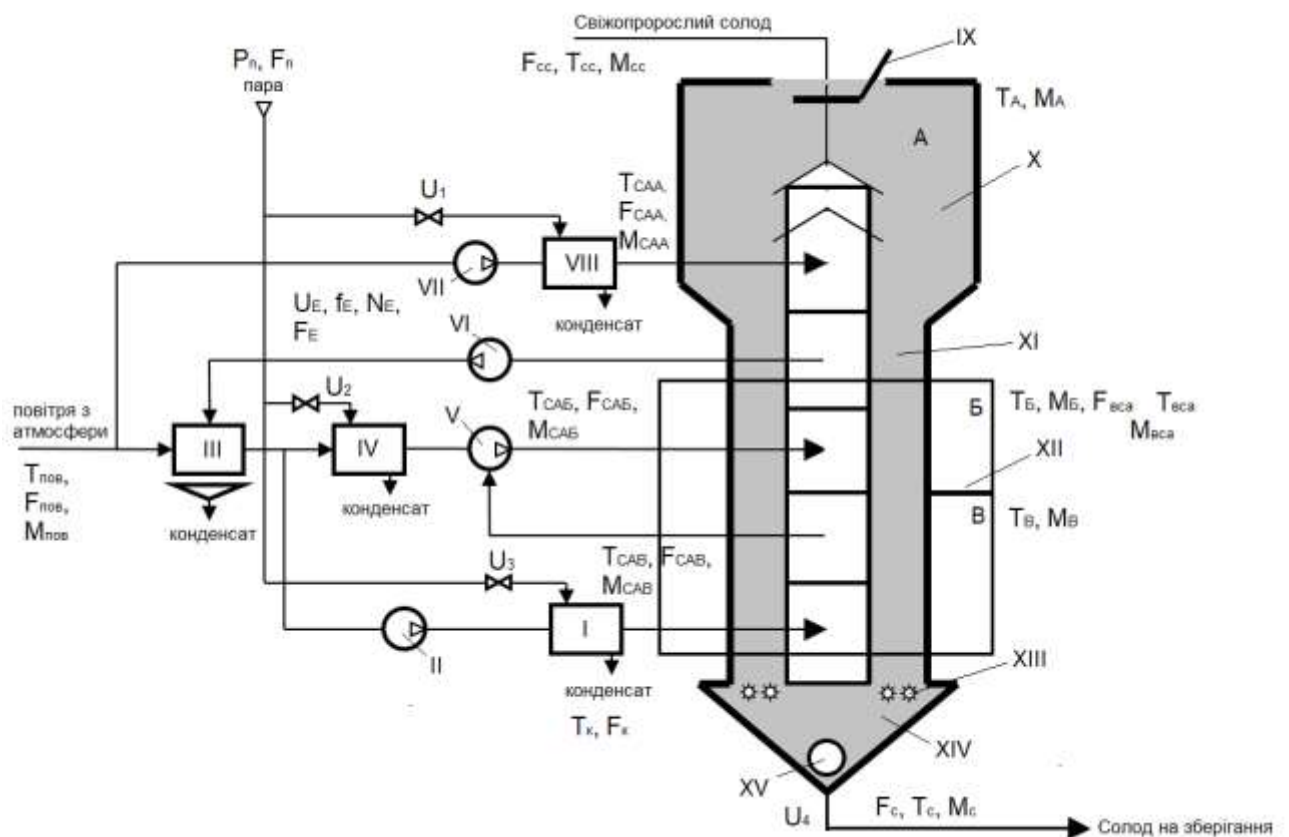


Рис. 1.3 – Параметризована технологічна схема процесу сушіння солоду

F_{cc} – витрати свіжопророслого солоду, кг/год;

T_{cc} – температура свіжопророслого солоду, °C;

M_{cc} – відносна вологість свіжопророслого солоду, %

$P_{\text{п}}$ – тиск пари в паропроводі, МПа;

$F_{\text{п}}$ – сумарні витрати пари, кг/год;

$T_{\text{пов}}$ – температура повітря, °С;

$F_{\text{пов}}$ – витрати повітря, м³/год;

$M_{\text{пов}}$ – відносна вологість повітря, %;

$U_{\text{Е}}$ – напруга в електромережі, В;

$f_{\text{Е}}$ – частота в електромережі, Гц;

$N_{\text{Е}}$ – зведена потужність електродвигунів вентиляторів, кВт;

$F_{\text{Е}}$ – витрати електроенергії, кВт · год;

U_1 – положення регулюючого органу подачі пари на калорифер VIII, %х.р.о.;

U_2 – положення регулюючого органу подачі пари на калорифер IV, %х.р.о.;

U_3 – положення регулюючого органу подачі пари на калорифер I, %х.р.о.;

U_4 – положення регулюючого органу, що задає продуктивність відвантажувального шнека, %х.р.о.;

$T_{\text{САА}}$ – температура сушильного агенту на камеру підв'ялювання, °С;

$F_{\text{САА}}$ – витрати сушильного агенту на камеру підв'ялювання, м³/год;

$M_{\text{САА}}$ – відносна вологість сушильного агенту на камеру підв'ялювання, %;

$T_{\text{САБ}}$ – температура сушильного агенту на камеру Б, °С;

$F_{\text{САБ}}$ – витрати сушильного агенту на камеру Б, м³/год;

$M_{\text{САБ}}$ – відносна вологість сушильного агенту на камеру Б, %;

$T_{\text{САВ}}$ – температура сушильного агенту на камеру В, °С;

$F_{\text{САВ}}$ – витрати сушильного агенту на камеру В, м³/год;

$M_{\text{САВ}}$ – відносна вологість сушильного агенту на камеру В, %;

$T_{\text{А}}$ – температура солоду на виході з камери підв'ялювання, °С;

$M_{\text{А}}$ – відносна вологість солоду на виході з камери підв'ялювання, °С;

$T_{\text{Б}}$ – температура солоду на виході з камери Б, °С;

$M_{\text{Б}}$ – відносна вологість солоду на виході з камери Б, °С;

T_B – температура солоду на виході з камери В, °C;
 M_B – відносна вологість солоду на виході з камери В, %;
 T_{BCA} – температура відпрацьованого сушильного агенту, °C;
 F_{BCA} – витрати відпрацьованого сушильного агенту, м³/год;
 M_{BCA} – відносна вологість відпрацьованого сушильного агенту, %;
 T_C – температура висушеного солоду, °C;
 F_C – витрати висушеного солоду, кг/год;
 M_C – відносна вологість висушеного солоду, %;
 T_k – температура конденсату, °C;
 F_k – витрати конденсату, л/год.

Основу нормативів складають три основних регламенти.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті технологічного процесу буде отримано продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу сушіння солоду такими параметрами є:

T_{CAA} – температура сушильного агенту на камеру підв'ялювання, °C;
 F_{CAA} – витрати сушильного агенту на камеру підв'ялювання, м³/год;
 M_{CAA} – відносна вологість сушильного агенту на камеру підв'ялювання, %;
 T_{CAB} – температура сушильного агенту на камеру Б, °C;
 F_{CAB} – витрати сушильного агенту на камеру Б, м³/год;
 M_{CAB} – відносна вологість сушильного агенту на камеру Б, %;
 T_{CAV} – температура сушильного агенту на камеру В, °C;
 F_{CAV} – витрати сушильного агенту на камеру В, м³/год;
 M_{CAV} – відносна вологість сушильного агенту на камеру В, %;
 T_A – температура солоду на виході з камери підв'ялювання, °C;
 M_A – відносна вологість солоду на виході з камери підв'ялювання, %;
 T_B – температура солоду на виході з камери Б, °C;

M_B – відносна вологість солоду на виході з камери В, °С;

T_B – температура солоду на виході з камери В, °С;

M_B – відносна вологість солоду на виході з камери В, °С;

M_{BCA} – відносна вологість відпрацьованого сушильного агенту, %;

T_C – температура висушеного солоду, °С;

M_C – відносна вологість висушеного солоду, %;

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання.

Техніко-економічний і екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних та гранично-припустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. Для технологічного процесу сушіння солоду такими параметрами є:

F_{Π} – сумарні витрати пари, кг/год;

F_E – витрати електроенергії, кВт · год;

T_{BCA} – температура відпрацьованого сушильного агенту, °С;

F_{BCA} – витрати відпрацьованого сушильного агенту, м³/год;

F_C – витрати висушеного солоду, кг/год;

T_k – температура конденсату, °С;

F_k – витрати конденсату, л/год.

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, що викликані зміною параметрів, характеризують умови ведення процесу навіть при досить ефективному керуванні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски.

Відхилення температури нагрівання солоду нижче гранично припустимих значень може призвести до його недосушування, а перевищення

температурою верхнього гранично припустимого значення може призвести до пересушування солоду і, навіть, до його пригорання. В обох випадках порушення регламенту веде до погіршення якості готового продукту, до збільшення виходу браку, а перевищення температур призводить до нерегламентованих надмірних витрат енергії.

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від номінальних прийнято розділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі та короткочасні відхилення. Аналіз нормативів ведення технологічного процесу та експлуатації обладнання оформимо у вигляді таблиці регламентів 1.1.

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

Назва параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	Номінальне значення параметру	Припустимі відхилення від номіналу		
				Тривалі	Короткочасні	
				величина	величина	час, сек
Температура солоду на виході з камери Б	Т _Б	°С	75	±2	±5	150
Температура солоду на виході з камери В	Т _В	°С	83	±1	±3	150

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних (і можуть виходити за межі допусків) внаслідок зміни умов, у яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються визначеними параметрами і можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаках.

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних (і можуть виходити за межі допусків) внаслідок зміни умов, у

яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами і можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. Для технологічного процесу сушіння солоду до цієї групи параметрів віднесемо:

F_{cc} – витрати свіжопророслого солоду, кг/год;

T_{cc} – температура свіжопророслого солоду, °C;

M_{cc} – відносна вологість свіжопророслого солоду, %

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. Для технологічного процесу сушіння солоду до цієї групи параметрів віднесемо:

$P_{п}$ – тиск пари в паропроводі, МПа;

$T_{пов}$ – температура повітря, °C;

$F_{пов}$ – витрати повітря, м³/год;

$M_{пов}$ – відносна вологість повітря, %;

U_E – напруга в електромережі, В;

f_E – частота в електромережі, Гц;

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. Для технологічного процесу виробництва фруктово-ягідної начинки до цієї групи параметрів віднесемо:

N_E – зведена потужність електродвигунів вентиляторів, кВт;

U_1 – положення регулюючого органу подачі пари на калорифер VIII, %х.р.о.;

U_2 – положення регулюючого органу подачі пари на калорифер IV, %х.р.о.;

U_3 – положення регулюючого органу подачі пари на калорифер I, %х.р.о.;

U_4 – положення регулюючого органу, що задає продуктивність.

Параметризована схема технологічного процесу має змістовний характер. Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами технологічного процесу досягається за рахунок переходу до формалізованої параметричної схеми (рис. 1.4).



Рис. 1.4 – Параметрична схема процесу сушіння солоду

При цьому ті параметри, що відбивають мету функціонування об'єкта моделювання і додаткові вимоги до нього, тобто ті параметри, що

регламентовані, будуть вихідними, а параметри, що відбивають умови функціонування об'єкта - вхідними. Зв'язок між вхідними і вихідними параметрами - причинно-наслідковий.

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

Схемою автоматизації процесу сушіння солоду в сушарці ЛСХА (рис. 1.5) передбачено регулювання витрат сушильного агенту, що подається у зони А, Б, В нагрівання, тиску пари, що поступає в калорифери №1, 2, 3, контроль температури в зонах нагрівання, контроль вологості солоду в приймальному бункері, місцеве і дистанційне керування електродвигунами вентиляторів, розкидача і шнека у приймальному бункері.

Процесом сушки у всіх трьох зонах нагрівання сушарки керують екстремальні регулятори 1-6, 3-6, 5-6, що стабілізують температурно-вологісні режими в зонах нагрівання. Наприклад, в зоні А (в камері підв'ялювання) регулятор 5-6 отримує інформацію від ряду датчиків, в їх числі датчик витрат повітря 5-1 (камера звужуючого пристрою), що встановлений на трубопроводі до калорифера №1 з дифманометром 5-2. Датчик температури 5-3 (термопара ТХК) сповіщає регулятор про зміну температури пари, що поступає в калорифер для нагрівання повітря.

З електродвигуном вентилятора з'єднаний прилад 5-4, що вимірює споживану ним потужність. Він інформує регулятор про фактичні витрати електричної енергії.

Крім того, регулятор отримує інформацію про вологість сушильного агенту, що нагнітається вентилятором до камери підв'ялювання вище шару солоду. Перший датчик вологості 5-5 встановлено в повітропроводі після калорифера №1, другий 5-6 – в верхній частині камери підв'ялювання.

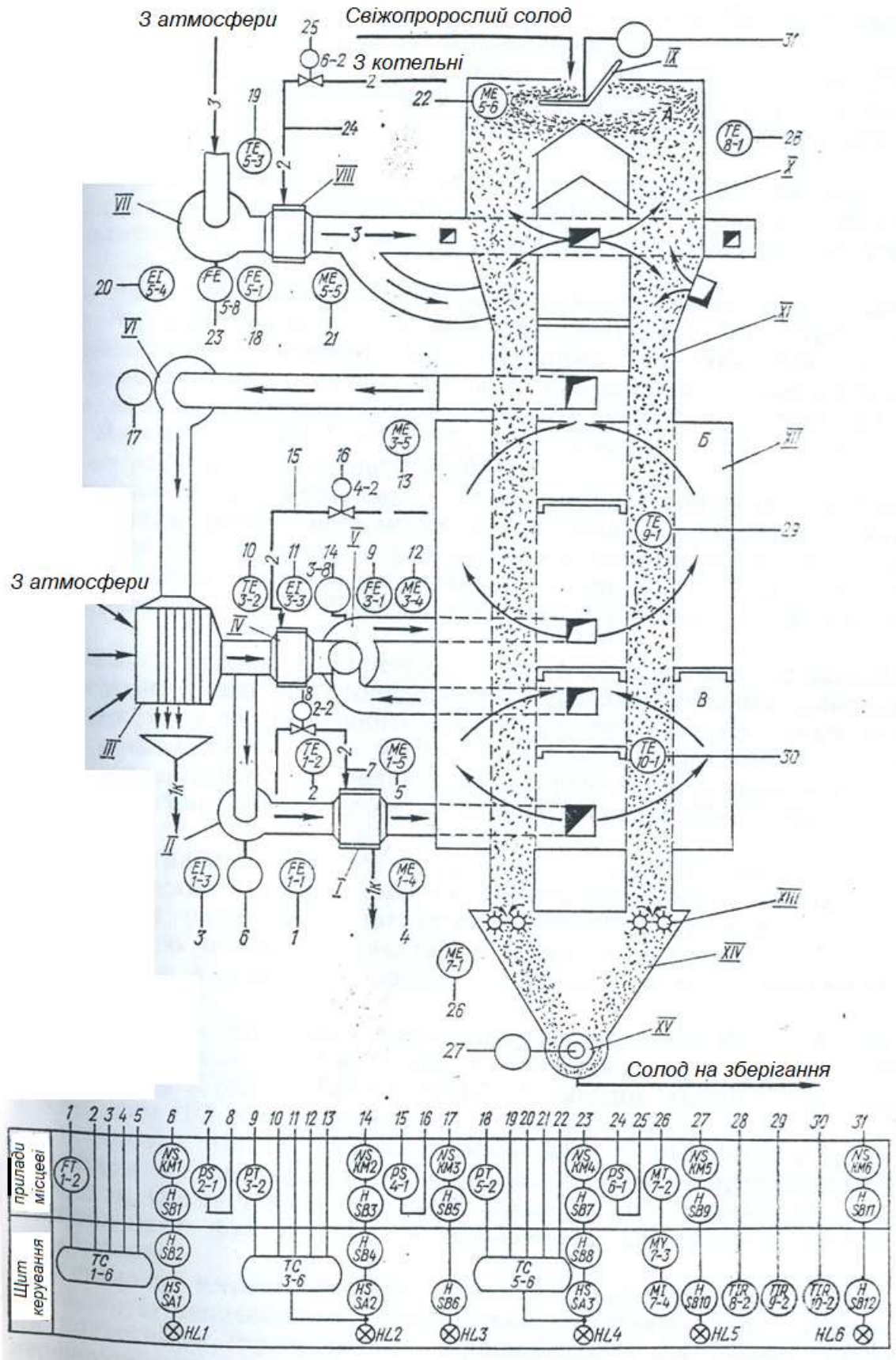


Рис. 1.5 – Автоматизація процесу сушіння солоду в сушарці ЛСХА

Екстремальний регулятор 5-6, отримавши від датчиків відповідну інформацію, виробляє сигнал відхилення швидкості сушильного агенту від екстремуму і діє з допомогою виконавчого механізму 5-8 на роботу вентилятора, що забезпечує відповідну зміну витрат сушильного агенту.

На екстремальний регулятор датчиками неперервно передається також інформація про якість випареної вологи, і розрахунок сумарної споживаної потужності ведеться неперервно на одиницю випареної вологи.

Дана система керування процесом сушки солоду в зоні А нагрівання забезпечує автоматичний вибір швидкості сушильного агенту з умов екстремуму питомих енерговитрат.

Аналогічно описаному відбувається керування сушінням солоду в зонах Б і В сушарки. Екстремальний регулятор 3-6 отримує відповідну інформацію від датчиків 3-1, 3-2, 3-3, в тому числі від датчиків вологості 3-4, 3-5, установлених в повітропроводі перед зоною Б нагрівання і в повітропроводі на виході із неї. Виконавчий механізм 3-8 регулює витрати сушильного агенту, що поступає в зону Б нагрівання.

Екстремальний регулятор 1-3 отримує відповідну інформацію від датчиків 1-1, 1-2, 1-3, в тому числі від датчиків вологості, установлених у повітропроводах після калорифера №3, тобто перед входом в зону В нагрівання і після неї.

Регулювання тиску пари, що поступає на калорифер №1 для нагрівання повітря, здійснюється регулятором прямої дії 2-1 типу РД, встановленого на паропроводі. Аналогічно відбувається регулювання тиску пари, що поступає на калорифери №2 і №3 регуляторами прямої дії 4-1, 6-1 типу РД, установленими на відповідних паропроводах.

Контроль температури сушильного агенту в зоні А нагрівання проводиться автоматичним мостом 8-2 типу КСМ2-014, термоперетворювач якого 8-1 типу ТСМ встановлений в рухомому потоці солоду в камері підв'ялювання.

Аналогічно описаному здійснюється контроль температури в зонах Б і В сушарки автоматичними мостами 9-2, 10-2, датчики яких 9-1 і 10-1 установлені у відповідних зонах сушарки.

Контроль вологості готового солоду здійснюється уніфікованим вологоміром 7-4 типу СВЧ з мікропроцесорним обчислювальним пристроєм, з датчиком 7-1 і перетворювачами 7-2, 7-3.

Місцеве керування електродвигунами вентиляторів здійснюється кнопковими вимикачами SB1, SB3, SB5, SB7, дистанційне – кнопковими вимикачами SB2, SB4, SB6, SB8. Для перемикання з автоматичного режиму керування на дистанційний і навпаки призначені ключі керування SA1, SA2, SA3. Лампи HL1, HL2, HL3, HL4 сигналізують про зміни режиму роботи електродвигунів.

Місцеве і дистанційне керування електродвигуном розкидача (замість нього може бути встановлено скребковий або стрічковий транспортер) і розвантажувальним шнеком здійснюється відповідно кнопковими вимикачами SB9, SB10, SB11 і SB12. Лампи HL5, HL6 сигналізують про зміну режиму роботи.

Автоматизація процесу сушіння солоду с ЛСХА забезпечує автоматичний вибір швидкості сушильного агунту з умови екстремуму питомих енерговитрат. Впровадження даної схеми у виробництво дозволило значно знизити енергоємність процесу сушіння в сушарці і зберегти високу якість висушуваного солоду.

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 сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці основним джерелом підвищення

ефективності процесу є зменшення енерговитрат на процес. Порушення технологічного регламенту на температурні режими сушіння солоду призводить до втрати якості готового продукту, а значить і до втрат від браку готової продукції.

Перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної ефективності зведемо 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 пари Вихід браку готової продукції	Стабілізація температури солоду	Зменшення витрат пари на процес на 10% Зниження браку готової продукції на 10%

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 сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці 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 сушіння є одним з ключових процесів виробництва солоду. Підвищення ефективності саме цього процесу здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому саме процес сушіння 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 питомих енерговитрат та втрат від браку готової продукції.

Виходячи з вище викладеного, при впровадженні для процесу виробництва сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці модернізованої системи керування на базі мікропроцесорної техніки, яка буде ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися: зниження витрат пари та виходу браку готової продукції. 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 сушіння солоду в якості регульованих координати доцільно обрати температури нагрівання солоду на виході з зон Б та В T_B та T_V .

Необхідною умовою вирішення задач керування є наявність управляючих дій, що повинні бути вхідними змінними (координатами) ОК. Для процесу сушіння солоду до керуючих дій доцільно віднести положення регулюючих органів, що дроселюють потоки пари на калорифери IV та I: U_2 , U_3 .

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

Для процесу сушіння солоду збурень, контроль яких суттєво б підвищив якість регулювання температур на інтервалі часу сушіння солоду в шахтній солодосушарці, виявлено не було. Тому всі входні дії, крім керуючих дій, віднесемо до неконтрольованих збурень. Детерміновану складову цих збурень адитивно прикладемо до керуючих дій, а стохастичну складову – до регульованих координат.

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

Структурна схема процесу сушіння солоду наведена на рис. 2.1.

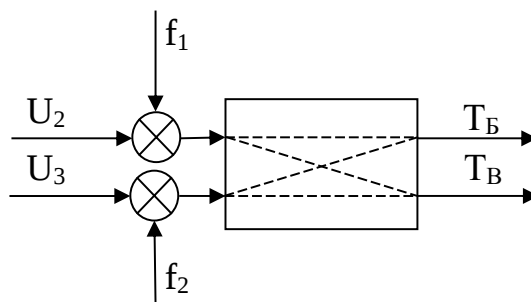


Рис. 2.1 – Структурна схеми об'єкту регулювання

На рисунку:

T_B – температура нагрівання солоду на виході з зони Б, °С;

T_V – температура нагрівання солоду на виході з зони В °С;

U_2 – положення регулюючого органу подачі пари до калорифера ІV, %х.р.о.;

U_3 – положення регулюючого органу подачі пари до калорифера І, %х.р.о.;

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.

Кожен канал ОК має властивість самовирівнювання. Збільшення керуючих дій U_2 (положення регулюючого органу подачі пари на калорифер IV) та U_3 (положення регулюючого органу подачі пари на калорифер I) призведе до збільшення температур нагрівання солоду T_B та T_V .

Ідентифікацію лінеаризованих моделей динаміки каналів управління об'єкта регулювання проведемо на основі активного експерименту, попередньо його спланувавши.

План активного експерименту

1. За допомогою зміни управляючих дій домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень. Для нашого ОК значенням $U_2 = 60 \% \text{х.р.о.}$ та $U_3 = 60 \% \text{х.р.о.}$ будуть відповідати значення регульованих координат $T_B = 75^\circ\text{C}$, $T_V = 83^\circ\text{C}$.

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

3. Змінимо управляючу дію U_2 ступінчастим чином на $10\% \text{х.р.о.}$, відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів.

5. Повертаємо U_2 у вихідний стан, чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів.

6. Змінимо управляючу дію U_3 ступінчастим чином на $10\% \text{х.р.о.}$, відзначивши при цьому момент початку його зміни.

7. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів.

Результати активних експериментів наведені на рис. 2.2. – 2.5.

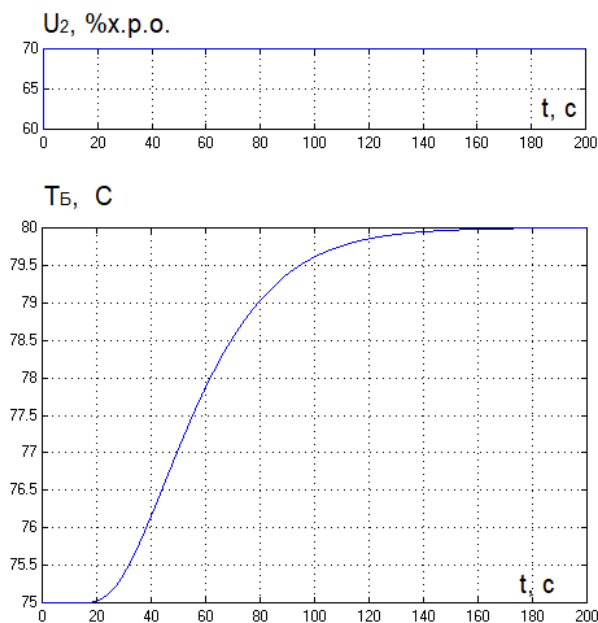


Рис. 2.2 – Результат активного експерименту за каналом « $U_2 - T_B$ »

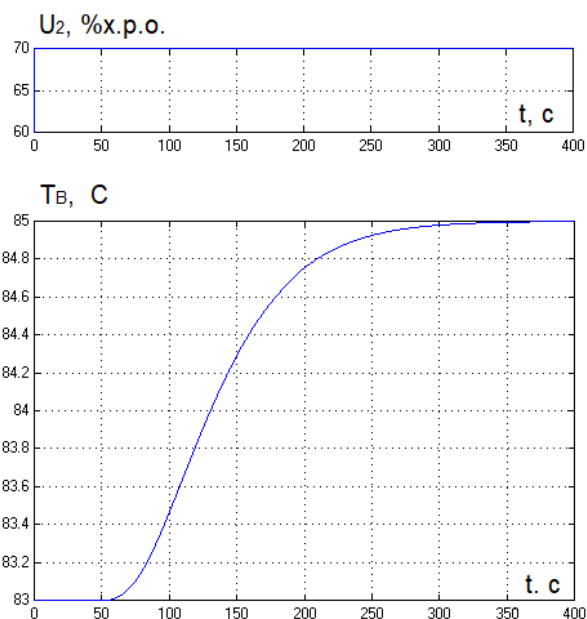


Рис.2.3 – Результат активного експерименту за каналом « $U_2 - T_B$ »

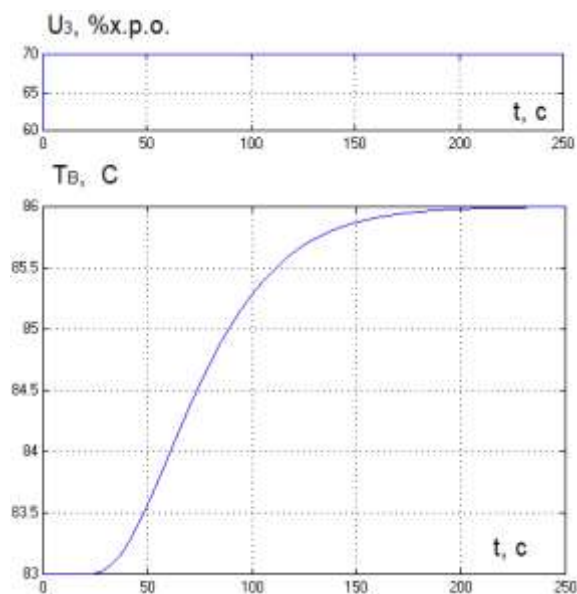


Рис.2.4 – Результат активного експерименту за каналом « $U_3 - T_B$ »

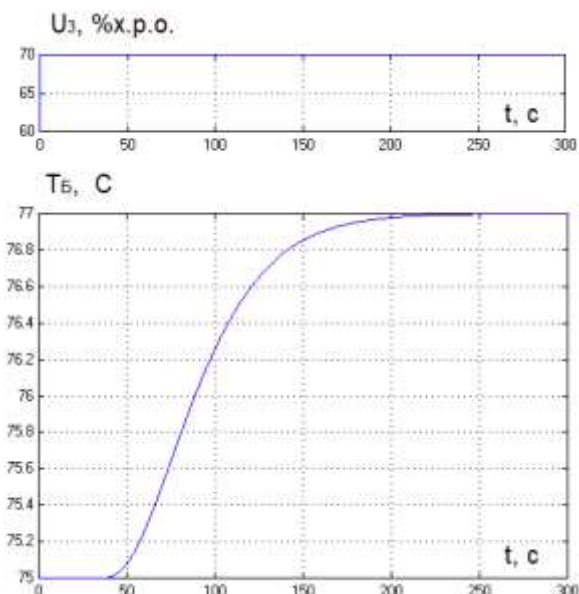


Рис.2.5 – Результат активного експерименту за каналом « $U_3 - T_B$ »

За результатами активного експерименту (рис. 2.2 – 2.5) можна зробити висновок, що за всіма канал наш ОК має властивість самовирівнювання, а тому може бути описаний передаточними функціями такого вигляду:

$$W_O(p) = \frac{K_O \cdot e^{-\tau_O p}}{T_O p + 1}; W_O(p) = \frac{K_O \cdot e^{-\tau_O p}}{(T_O p + 1)^2}$$

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

Канал « $U_2 - T_B$ »

$$k = \Delta T_B / \Delta U_2 = (80 - 75) / (70 - 60) = 5 / 10 = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$$

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 45,5 - 69,25) / 2 = 33,6 \text{ с}$$

$$t_{0,33} = 45,5 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 69,25 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (69,25 - 33,6) / 1,2 = 29,7 \text{ с}$$

$$W_{U_2-T_B}^O(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-33,6p}}{29,7p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 37,55 - 69,25) / 2 = 21,7 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (69,25 - 21,7) / 2,4 = 19,8 \text{ с}$$

$$t_{0,19} = 37,55 \text{ с}$$

$$W_{U_2-T_B}^O(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-21,7p}}{(19,8p + 1)^2}$$

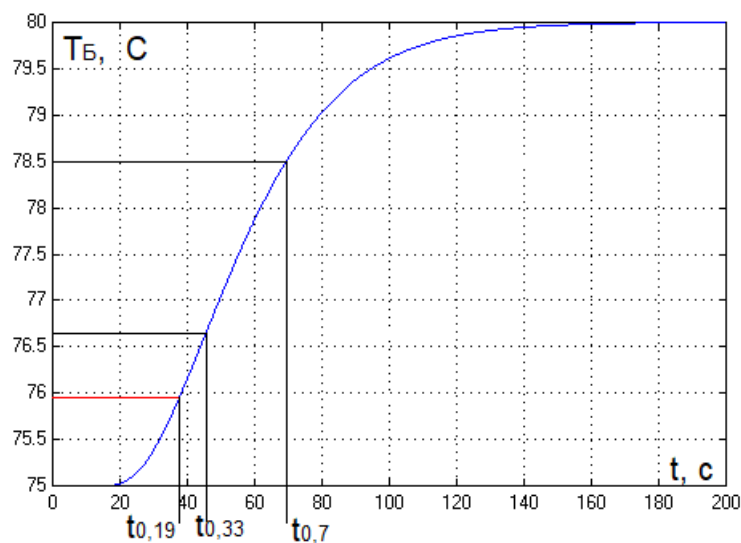


Рис. 2.6 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом « $U_2 - T_B$ »

Канал « $U_2 - T_B$ »

$$k = \Delta T_B / \Delta U_2 = (85 - 83) / (70 - 60) = 2 / 10 = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

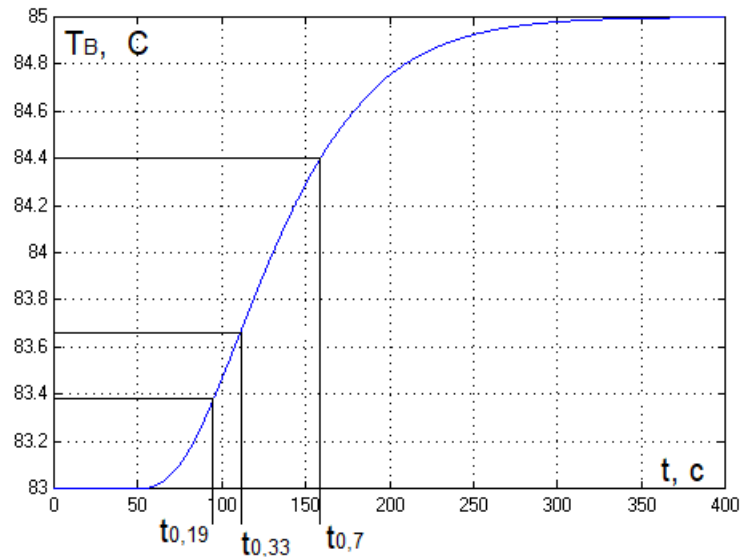


Рис. 2.7 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом « $U_2 - T_B$ »

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 110,8 - 158,5) / 2 = 87 \text{ c}$$

$$t_{0,33} = 110,8 \text{ c}$$

$$t_{0,7} = 158,5 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (158,5 - 87) / 1,2 = 59,6 \text{ c}$$

$$W_{U_2 - T_B}^o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-87p}}{59,6p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 95 - 158,5) / 2 = 63,25 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (158,5 - 63,25) / 2,4 = 39,7 \text{ c}$$

$$t_{0,19} = 95 \text{ c}$$

$$W_{U_2 - T_B}^o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-63,25p}}{(39,7p + 1)^2}$$

Канал « $U_3 - T_B$ »

$$k = \Delta T_B / \Delta U_3 = (86 - 83) / (70 - 60) = 3 / 10 = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

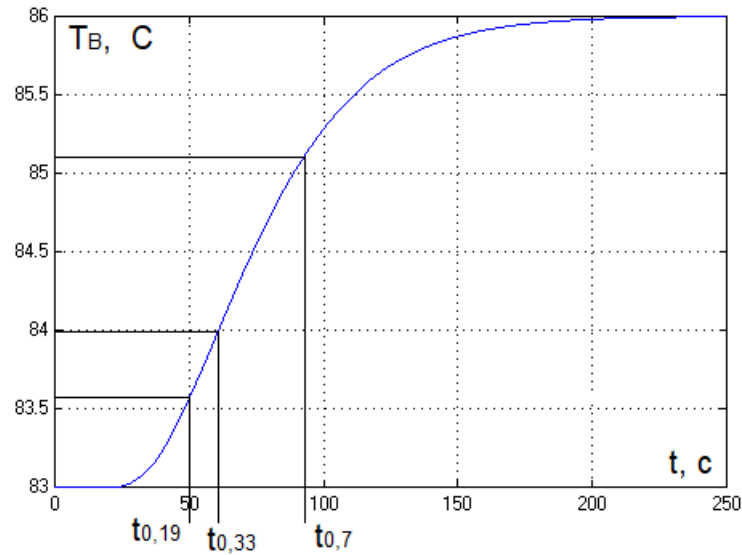


Рис. 2.8 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом « $U_3 - T_B$ »

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 60,6 - 92,3) / 2 = 44,8 \text{ с}$$

$$t_{0,33} = 60,6 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 92,3 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (92,3 - 44,8) / 1,2 = 39,6 \text{ с}$$

$$W_{U_3-T_B}^O(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-44,8p}}{39,6p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 50 - 92,3) / 2 = 28,9 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (92,3 - 28,9) / 2,4 = 26,4 \text{ с}$$

$$t_{0,19} = 50 \text{ с}$$

$$W_{U_3-T_B}^O(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-28,9p}}{(26,4p + 1)^2}$$

Канал « $U_3 - T_B$ »

$$k = \Delta T_B / \Delta U_3 = (77 - 75) / (70 - 60) = 2 / 10 = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$$

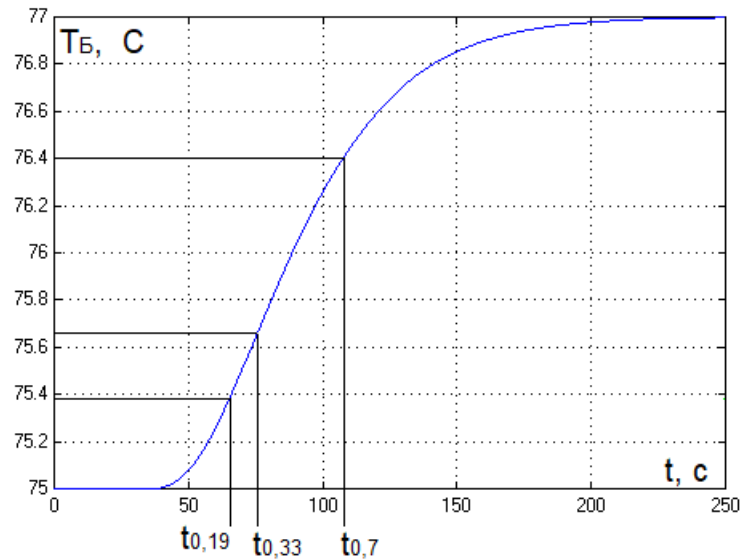


Рис. 2.9 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом « $U_3 - T_B$ »

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 75,6 - 107,3) / 2 = 59,8 \text{ с}$$

$$t_{0,33} = 75,6 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 107,3 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (107,3 - 59,8) / 1,2 = 39,6 \text{ с}$$

$$W_{U_3-T_B}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-59,8p}}{39,6p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 65 - 107,3) / 2 = 43,9 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (107,3 - 43,9) / 2,4 = 26,4 \text{ с}$$

$$t_{0,19} = 65 \text{ с}$$

$$W_{U_3-T_B}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-43,9p}}{(26,4p + 1)^2}$$

Проведемо ідентифікацію моделей статички каналів управління об'єкту регулювання з істотно нелінійними властивостями

Метою є отримання моделей статички для побудови моделей динаміки в абсолютних величинах.

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. 2.10.

Табл. 2.1 – Результати експерименту для визначення статичних характеристик ОК

№ експерименту	U ₂ , %х.р.о.	U ₃ , %х.р.о.	T _б , °C	T _в , °C
1	60	60	75	83
2	70	60	80	85
3	80	60	85	87
4	50	60	70	81
5	40	60	65	79
6	60	70	77	86
7	60	80	79	89
8	60	50	73	80
9	60	40	71	77

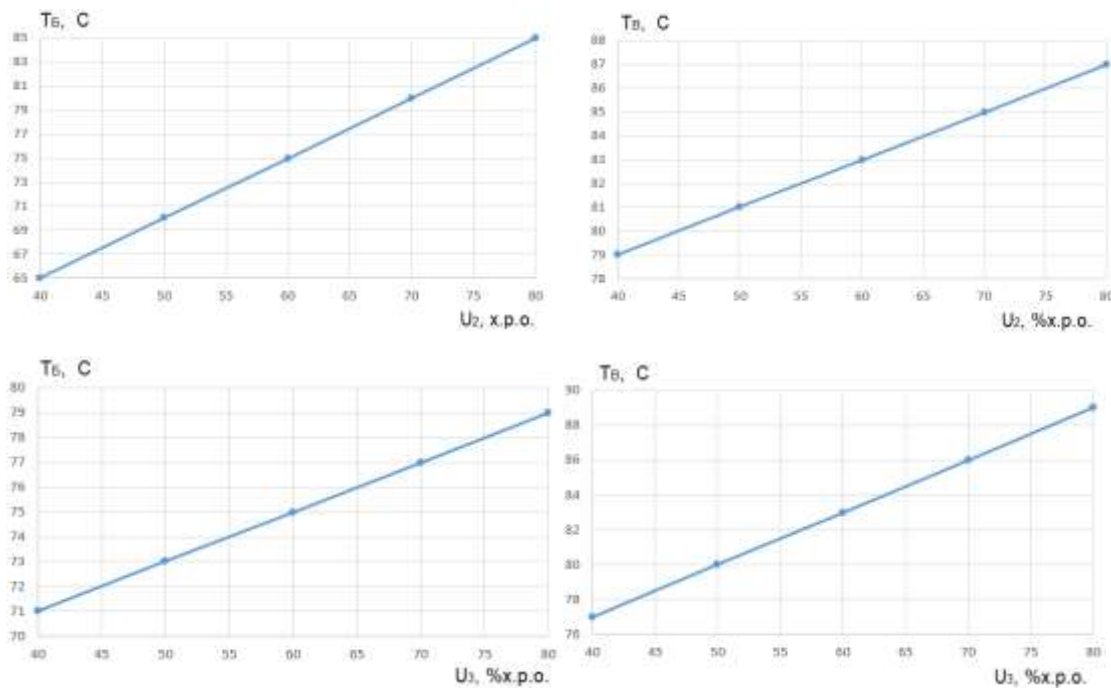


Рис. 2.10 – Статичні характеристики ОК

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(\vec{x})$. Структурна ідентифікація є вихідним пунктом загального завдання ідентифікації моделей статички. 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 кроків може бути кілька, тобто процедура ідентифікації носить ітераційний характер.

Для проведення параметричної ідентифікації моделі статички ОК доцільно використовувати метод найменших квадратів. Суть методу полягає в пошуку такого вектора параметрів $\vec{a}^*$ 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 $\vec{x}_i$, і вихідної змінної моделі об'єкту y_m , обчисленої при тих же значеннях $\vec{x}$, тобто

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

Проводимо структурну ідентифікацію моделей каналів ОК.

$$T_B = a_1 \cdot U_2 + a_2 \cdot U_3 + a_0$$

$$T_B = b_1 \cdot U_2 + b_2 \cdot U_3 + b_0$$

Проводимо параметричну ідентифікацію моделей каналів ОК.

$$a_1 = \Delta T_B / \Delta U_2 = (80 - 75) / (70 - 60) = 5 / 10 = 0,5^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

$$a_2 = \Delta T_B / \Delta U_3 = (77 - 75) / (70 - 60) = 2 / 10 = 0,2^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

$$a_0 = T_B - a_1 \cdot U_2 - a_2 \cdot U_3 = 75 - 0,5 \cdot 60 - 0,2 \cdot 60 = 75 - 30 - 12 = 33^\circ\text{C}$$

$$\mathbf{T_B = 0,5 \cdot U_2 + 0,2 \cdot U_3 + 33}$$

$$b_1 = \Delta T_B / \Delta U_2 = (85 - 83) / (70 - 60) = 2 / 10 = 0,2^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

$$b_2 = \Delta T_B / \Delta U_3 = (86 - 83) / (70 - 60) = 3 / 10 = 0,3^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

$$b_0 = T_B - b_1 \cdot U_2 - b_2 \cdot U_3 = 83 - 0,2 \cdot 60 - 0,3 \cdot 60 = 83 - 12 - 18 = 53^\circ\text{C}$$

$$\mathbf{T_B = 0,2 \cdot U_2 + 0,3 \cdot U_3 + 53}$$

2.3 Ідентифікація моделей збурень об'єкту керування

Слід зазначити, що неконтрольовані збурення на ОК не є чітко певними фізичними параметрами. Вони є певною математичною абстракцією, про яку відомою є лише реакція системи на них. Діапазон їх зміни доцільно прив'язувати до фізичного діапазону зміни управляючих дій. З теорії автоматичного керування відомо, що фізичний діапазон зміни управляючої дії лежить у межах $0...100\% \text{ х.р.о.}$, а діапазон зміни неконтрольованих збурень може становити приблизно $10...15\%$ від діапазону зміни управляючої дії, тобто становить приблизно $10...15\% \text{ х.р.о.}$ (якщо неконтрольовані збурення прикладені до управляючої дії), або $(10...15) \cdot K_0$ (якщо неконтрольовані збурення прикладені до регульованої координати).

В інженерній практиці стохастичні моделі вхідних дій звичайно представляють у формі випадкового процесу з декількома адитивними складовими, наприклад

$$f(t) = \bar{f}(t) + \tilde{f}^{\text{II}}(t) + \tilde{f}^{\text{C}}(t) + \tilde{f}^{\text{III}}(t)$$

де $\bar{f}(t)$ – детермінована повільно змінювана складова;

$\tilde{f}^{\text{II}}(t)$ – квазидетермінована складова;

$\tilde{f}^{\text{C}}(t)$ – стохастична центрована складова – центрований випадковий процес;

$\tilde{f}^{\text{III}}(t)$ – високочастотна стохастична складова – шум.

Варто враховувати, що складові $\bar{f}(t)$, $\tilde{f}^{\text{II}}(t)$, $\tilde{f}^{\text{C}}(t)$ і їх сума є відносно низькочастотними діями, несприятливі наслідки яких САК повинна і може компенсувати. Складова $\tilde{f}^{\text{III}}(t)$ пов'язана або із шумами у вимірювальних каналах, або з високочастотними збуреннями, наслідки яких, у силу особливостей каналів керування ОК, скомпенсовані бути не можуть. В обох випадках $\tilde{f}^{\text{III}}(t)$ в САК повинні бути відфільтровані (не «пропущені» на вхід

управляючого пристрою). Для вирішення цього завдання і повинні бути отримані властивості $\tilde{f}^{\text{ш}}(t)$.

Початок ідентифікації пов'язаний з тим, що відповідно до обраної моделі $f(t)$ прийнято рішення про віднесення складових реального сигналу до тієї або іншої складової моделі.

Для того, щоб зробити це відносно надійно, необхідно мати апріорну інформацію про властивості об'єкту за каналами керування. Якщо представити їх моделлю першого порядку із запізненням τ_0 , то за співвідношенням середніх періодів $T_{\text{п}}$ цих складових і τ_0 , можна провести поділ сигналу:

- якщо для складової $T_{\text{п}} < 4\tau_0$, то її доцільно віднести до $\tilde{f}^{\text{ш}}(t)$;
- якщо для складової $40\tau_0 > T_{\text{п}} > 4\tau_0$, то її доцільно віднести до $\tilde{f}^{\text{с}}(t) + \tilde{f}^{\text{п}}(t)$
- якщо для складової $T_{\text{п}} > 40\tau_0$, то її доцільно віднести до $\bar{f}(t)$

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Причому, детерміновану складову (f_1, f_2) доцільно привести до управляючої дії, а квазидетерміновану та стохастичну складові (f_c) доцільно привести до регульованої координати.

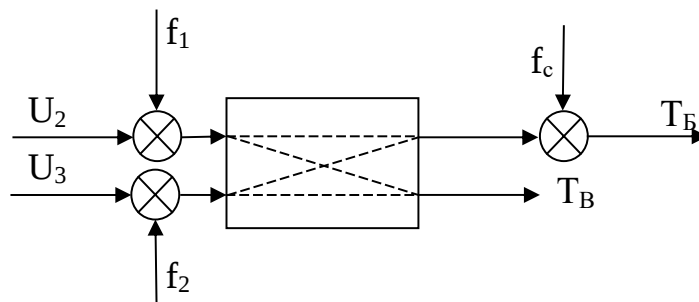


Рис. 2.11 – Структурна схема додання координатних збурень

Оскільки можливості отримати реальні експериментальні дані немає, то з навчальною метою можна скористатися генератором даних. Для генерації

результатів пасивного експерименту з метою дослідження неконтрольованих збурень треба бути готовими до відповіді на наступні питання.

Номер в журналі викладача – 10

$T_B (u = 0\% \text{ x.p.o.}) = 33^\circ\text{C}$

$T_B^{3\text{ДН}} = 75^\circ\text{C}$

$\tau_{U_2 - T_B} = 33,6 \text{ с.}$

Результати генерації випадкового процесу, що відповідає реакції ОК на неконтрольовані збурення, наведені на рис. 2.12.

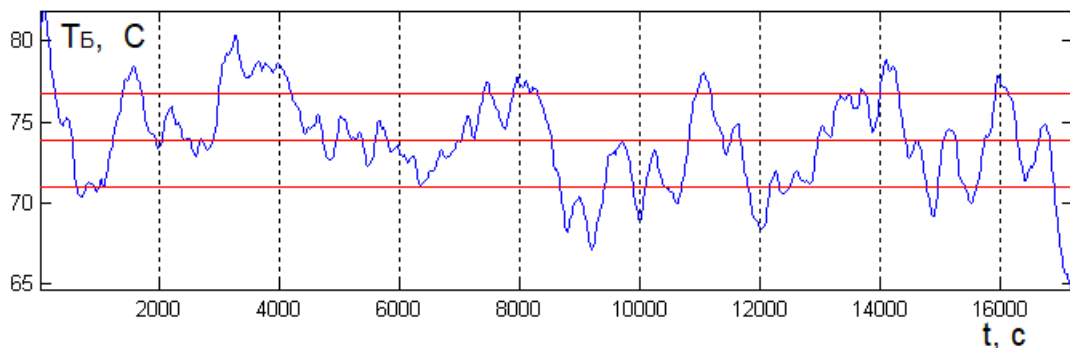


Рис. 2.12 – Результати генерації випадкового процесу за Тфн

Для ідентифікації моделей неконтрольованих координатних збурень можна використовувати програму IdSoft середовища Матлаб.

Першим етапом ідентифікації моделі неконтрольованих збурень є оцінювання імовірнісних характеристик відповідних випадкових процесів, а саме щільності імовірності, математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, середньоквадратичного періоду (СКП), кількості СКП у реалізації випадкового процесу, нормованої кореляційної функції і спектральної щільності випадкового процесу.

Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, що відповідає неконтрольованим збуренням, наведені на рис. 3.3.

За результатами оцінювання щільності імовірності випадкового процесу обирається його модель. В якості моделі обираємо нормальний випадковий процес:

$$p(f) = \frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(f-m_f)^2}{2\sigma_f^2}}$$

За результатами оцінювання нормованих кореляційних функцій з набору типових вибираємо два варіанти моделей кореляційних функцій і спектральних щільностей:

Модель №5

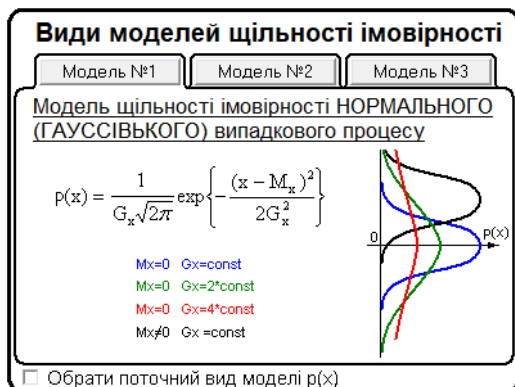
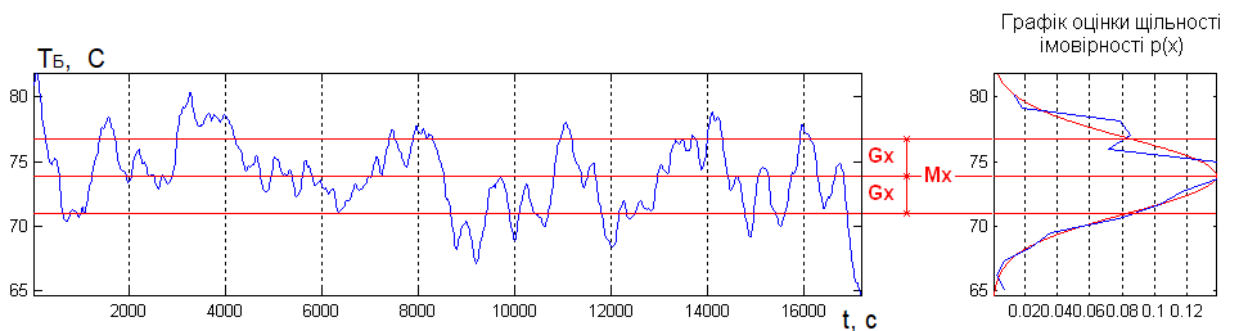
$$R_f(\tau_k) = D_f \cdot e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \cos(\beta \cdot |\tau_k|)$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f \cdot 2\alpha \cdot (\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}$$

Модель №6

$$R_f(\tau_k) = D_f \cdot e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \left(\cos(\beta \cdot |\tau_k|) + \frac{\alpha}{\beta} \cdot \sin(\beta \cdot |\tau_k|) \right)$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f \cdot 4\alpha \cdot (\alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}$$



Характеристики згенерованої реалізації випадкового процесу x(t):	
ВИХІДНІ	
Інтервал часу генерації ВП	Tr = 17203.2 с
Крок квантування ВП за часом генерації	Δt = 16.8 с
Кількість точок згенерованої реалізації ВП	N = 1024
ОТРИМАНІ В РЕЗУЛЬТАТІ ОЦІНЮВАННЯ	
Оцінка математичного очікування	Mx = 73.9
Оцінка дисперсії	Dx = 8.306
Оцінка середньоквадратичного відхилення	Gx = 2.882
Оцінка середньоквадратичного періоду	Tскп = 1186 с
Кількість середньоквадратичних періодів в згенерованій реалізації ВП (мінімум 25...50)	NТскп = 14.5

Рис. 2.13 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

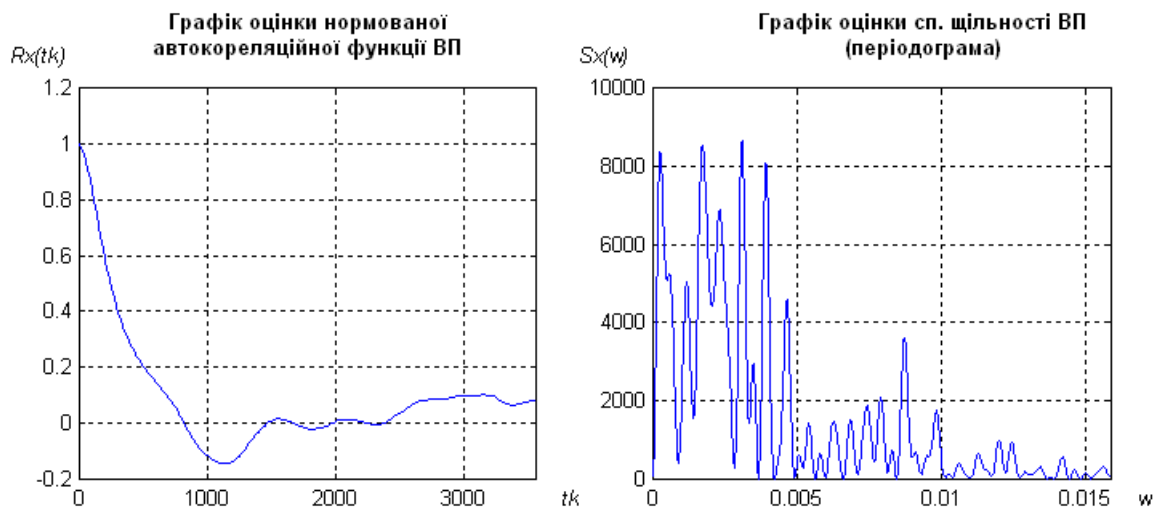


Рис. 2.13 (закінчення) – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

Параметрами моделей випадкових складових збурень є коефіцієнт спаду α і коефіцієнт коливальності β . Пошук значень цих параметрів і називають параметричною ідентифікацією моделі стохастичної складової збурень. Вона ведеться, як правило, у два етапи: 1) вибір початкових наближень параметрів $\hat{\alpha}^0, \hat{\beta}^0$; 2) пошук значень параметрів, які забезпечують найкраще наближення моделі до її оцінки.

При виборі початкових наближень параметрів можна користуватися рекомендаціями, які викладені в програмі. При параметричній оптимізації моделі використовується пошукова процедурами, що використовує квадратичний критерій. При цьому вирішується задача

$$\hat{a}^* = \arg \min \left[\left(\hat{R}_{\hat{f}}(\tau_K) - R_{\hat{f}}^M(\tau_K) \right)^2 \right], \quad \bar{a} = \{\alpha, \beta\}^T.$$

Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.14.

Таблиця результатів ідентифікації						
Номер моделі	α	β	A	C	γ	Значення критерію оптимізації
☒ 5.	0.0018944	0.0021529	-	-	-	1.2562
☒ 6.	0.0045745	0.0031219	-	-	-	1.8935

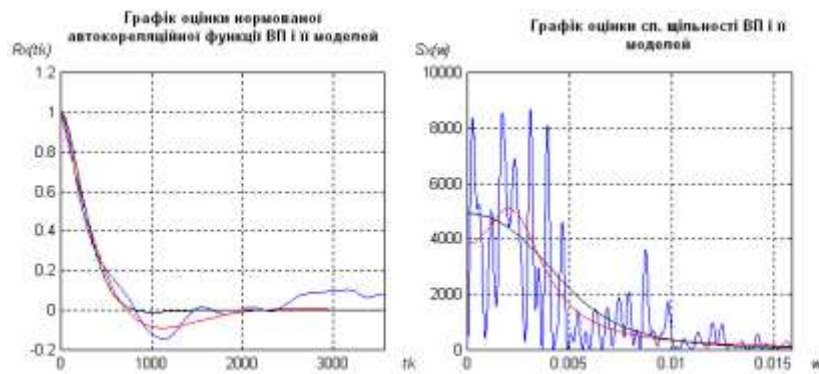


Рис. 2.14 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

Як видно з результатів ідентифікації моделі неконтрольованих збурень (рис. 3.6) кращою є модель №5, тому що для цієї моделі меншими є середньоквадратичні відхилення моделі від оцінок кореляційних функцій.

2.4 Реалізації моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним

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. Результати параметричної ідентифікації моделей каналів ОК зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати параметричної ідентифікації моделей каналів ОК

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
«U ₂ – Т _Б »	$W_{U_2-T_B}^O(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-33,6p}}{29,7p + 1}$	$W_{U_2-T_B}^O(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-21,7p}}{(19,8p + 1)^2}$
«U ₂ – Т _В »	$W_{U_2-T_B}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-87p}}{59,6p + 1}$	$W_{U_2-T_B}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-63,25p}}{(39,7p + 1)^2}$
«U ₃ – Т _Б »	$W_{U_3-T_B}^O(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-44,8p}}{39,6p + 1}$	$W_{U_3-T_B}^O(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-28,9p}}{(26,4p + 1)^2}$
«U ₃ – Т _В »	$W_{U_3-T_B}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-59,8p}}{39,6p + 1}$	$W_{U_3-T_B}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-43,9p}}{(26,4p + 1)^2}$

Для каналу «U₂ – Т_Б» передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_{U_2-T_B}^O(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-33,6p}}{29,7p+1}; W_{U_2-T_B}^O(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-21,7p}}{(19,8p+1)^2}$$

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 2.3. Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 2.15 Результати моделювання наведені на рис. 2.16.

Табл. 2.3 – Експериментальні дані за каналом « $U_2 - T_B$ »

t, c	T_B , °C	t, c	T_B , °C	t, c	T_B , °C	t, c	T_B , °C
0	75	40	76,16	90	79,38	160	79,98
10	75	50	77,06	100	79,61	180	80
16	75	60	77,88	110	79,76	200	80
20	75,02	70	78,54	120	79,85		
30	75,39	80	79,03	140	79,95		

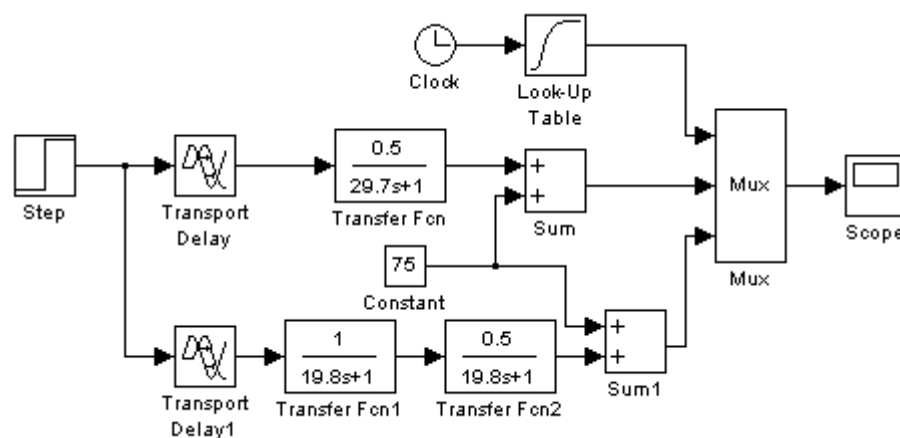
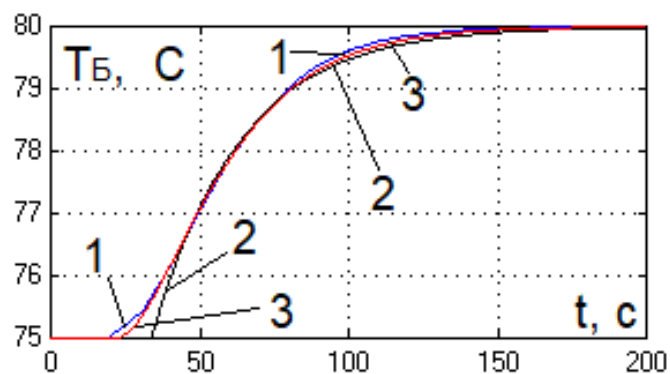
Рис. 2.15 – Схема моделювання ОК за каналом « $U_2 - T_B$ »

Рис. 2.16 – Результати моделювання ОК по каналу « $U_2 - T_B$ »: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Для каналу « $U_2 - T_B$ » передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_{U_2-T_B}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-87p}}{59,6p+1}; W_{U_2-T_B}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-63,25p}}{(39,7p+1)^2}$$

Експериментальні дані за каналом зведено в таблицю 2.4, схема моделювання наведена на рис. 2.17, а результати моделювання – на рис. 2.18.

Табл. 2.4 – Експериментальні дані за каналом «U₂ – T_B»

t, c	T _B , °C	t, c	T _B , °C	t, c	T _B , °C	t, c	T _B , °C
0	83	100	83,47	200	84,75	300	84,98
50	83	125	83,91	225	84,86	350	85
60	83,01	150	84,29	250	84,92	400	85
75	83,1	175	84,57	275	84,96		

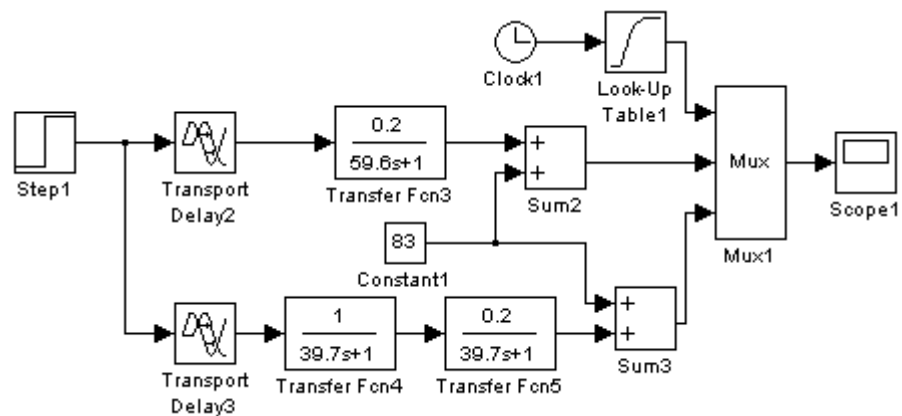


Рис. 2.17 – Схема моделювання каналу управління ОК за каналом «U₂ – T_B»

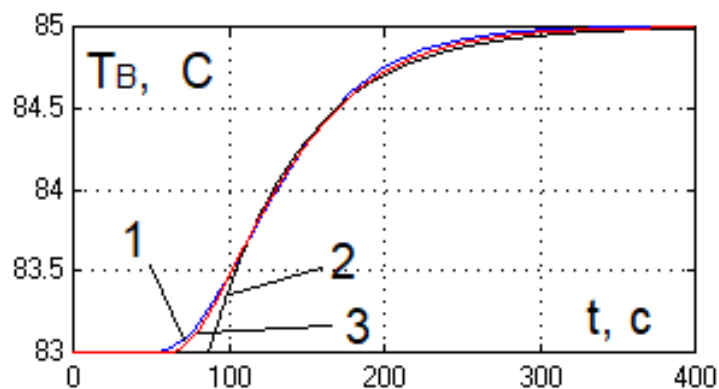


Рис. 2.18 – Результати моделювання ОК за каналом «U₂ – T_B»: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Для каналу « $U_3 - T_B$ » передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_{U_3-T_B}^O(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-44,8p}}{39,6p+1}; W_{U_3-T_B}^O(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-28,9p}}{(26,4p+1)^2}$$

Експериментальні дані за каналом « $U_3 - T_B$ » зведено в таблицю 2.5, схема моделювання каналу наведена на рис. 2.19 а результати моделювання – на рис. 2.20.

Табл. 2.5 – Експериментальні дані за каналом « $U_3 - T_B$ »

t, c	T _B , °C	t, c	T _B , °C	t, c	T _B , °C	t, c	T _B , °C
0	83	60	83,97	110	85,48	175	85,95
25	83	70	84,37	120	85,63	200	85,98
30	83,04	80	84,73	130	85,74	225	86
40	83,24	90	85,04	140	85,81	250	86
50	83,57	100	85,29	150	85,87		

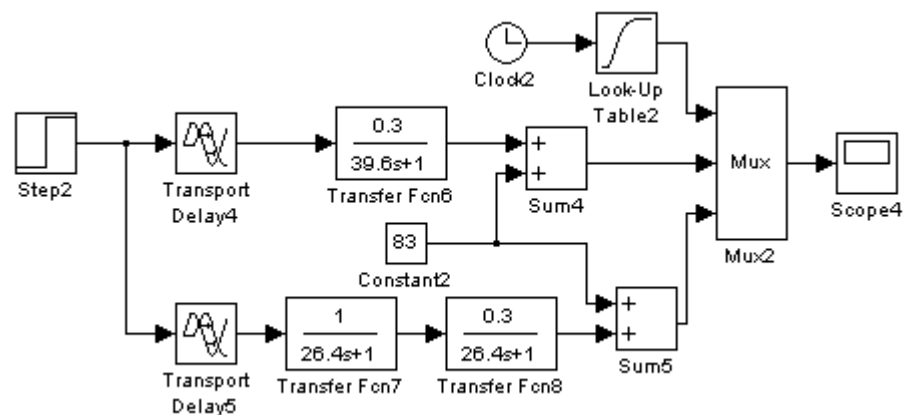


Рис. 2.19 – Схема моделювання каналу управління ОК
за каналом « $U_3 - T_B$ »

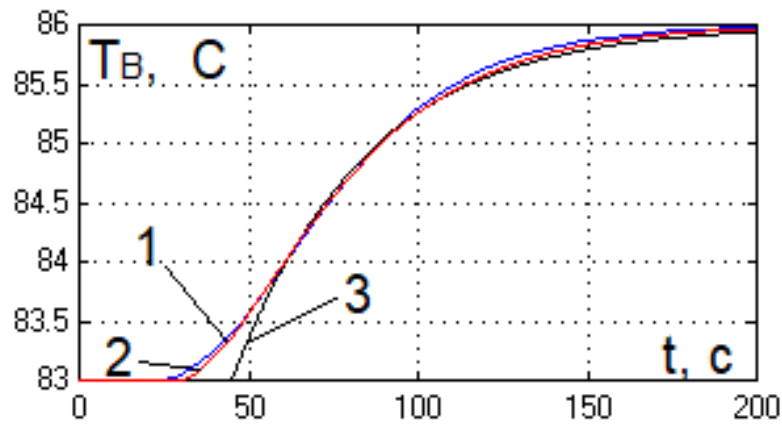


Рис. 2.20 – Результати моделювання ОК за каналом « $U_3 - T_B$ »: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Для каналу « $U_3 - T_B$ » передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W_{U_3-T_B}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-59,8p}}{39,6p+1}; W_{U_3-T_B}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-43,9p}}{(26,4p+1)^2}$$

Експериментальні дані за каналом « $U_3 - T_B$ » зведено в таблицю 2.6, схема моделювання каналу наведена на рис. 2.21 а результати моделювання – на рис. 2.22.

Табл. 2.6 – Експериментальні дані за каналом « $U_3 - T_B$ »

t, c	T_B , °C	t, c	T_B , °C	t, c	T_B , °C	t, c	T_B , °C
0	75	80	75,78	130	76,71	250	77
35	75	90	76,04	140	76,79	300	77
50	75,08	100	76,26	150	76,85		
60	75,26	110	76,45	175	76,94		
70	75,51	120	76,59	200	76,98		

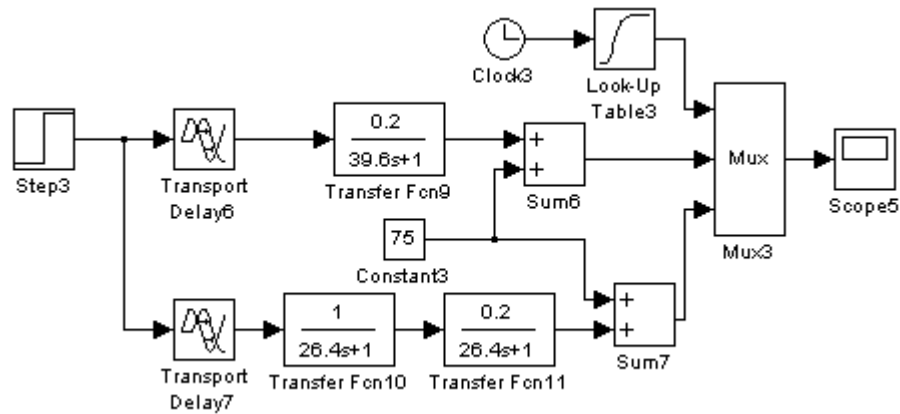


Рис. 2.21 – Схема моделювання каналу управління ОК за каналом « $U_3 - T_B$ »

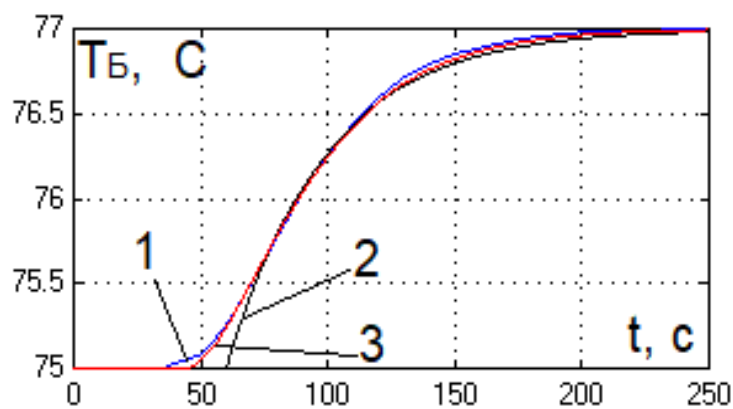


Рис. 2.22 – Результати моделювання ОК за каналом « $U_3 - T_B$ »: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Як видно з рис. 2.16, 2.18, 2.20 і 2.22, моделі ОК як 1-го, так і 2-го порядків досить точно описують експериментальні дані, але моделі 2-го порядку точніші.

Моделі статичних характеристик:

$$T_B = 0,5 \cdot U_2 + 0,2 \cdot U_3 + 33$$

$$T_B = 0,2 \cdot U_2 + 0,3 \cdot U_3 + 53$$

Для виконання цього етапу роботи скористаємося можливостями Матлаб (Simulink). Експериментальні дані для перевірки моделі статички наведені в таблиці 2.1, схеми моделювання наведені на рис. 2.23, а результати

модельовання – на рис. 2.24.

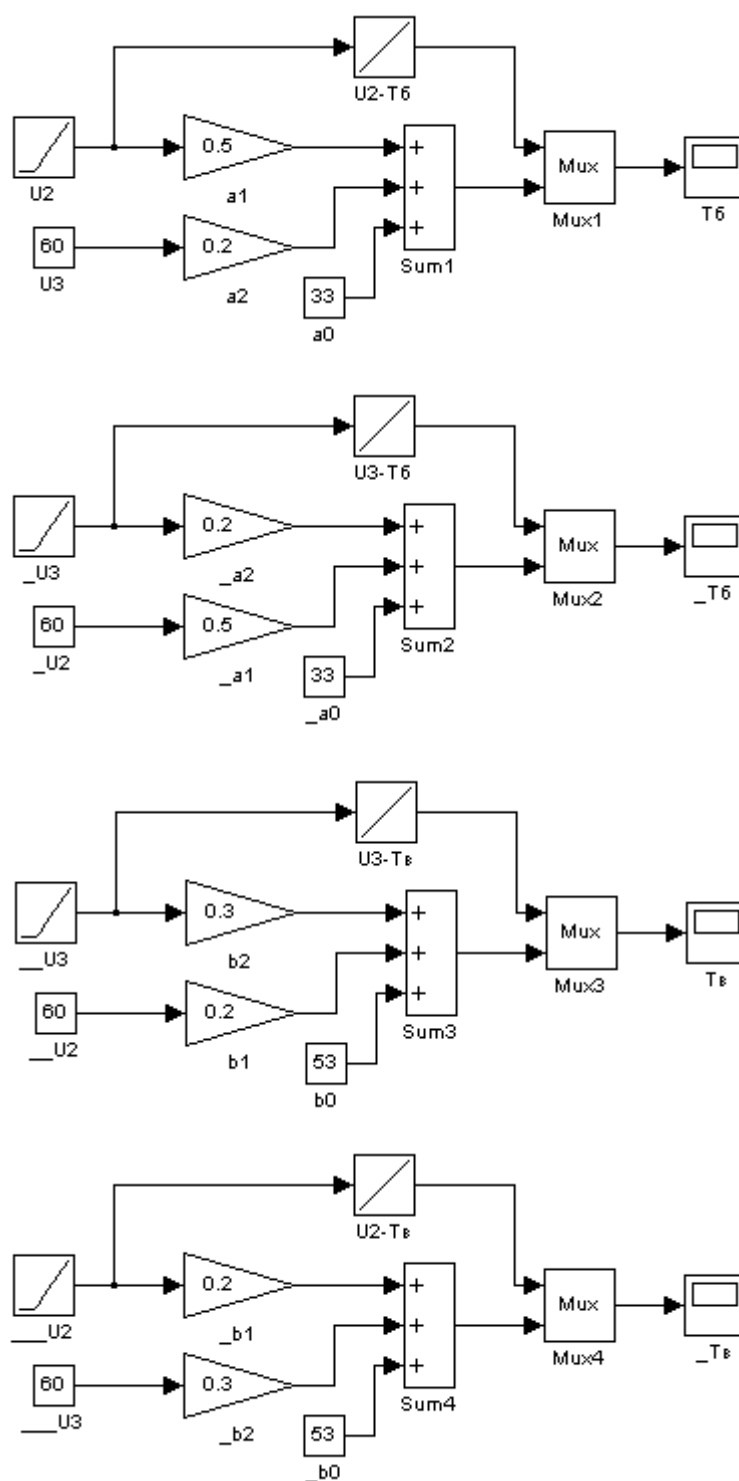


Рис. 2.23 – Схеми моделювання статичних характеристик ОК

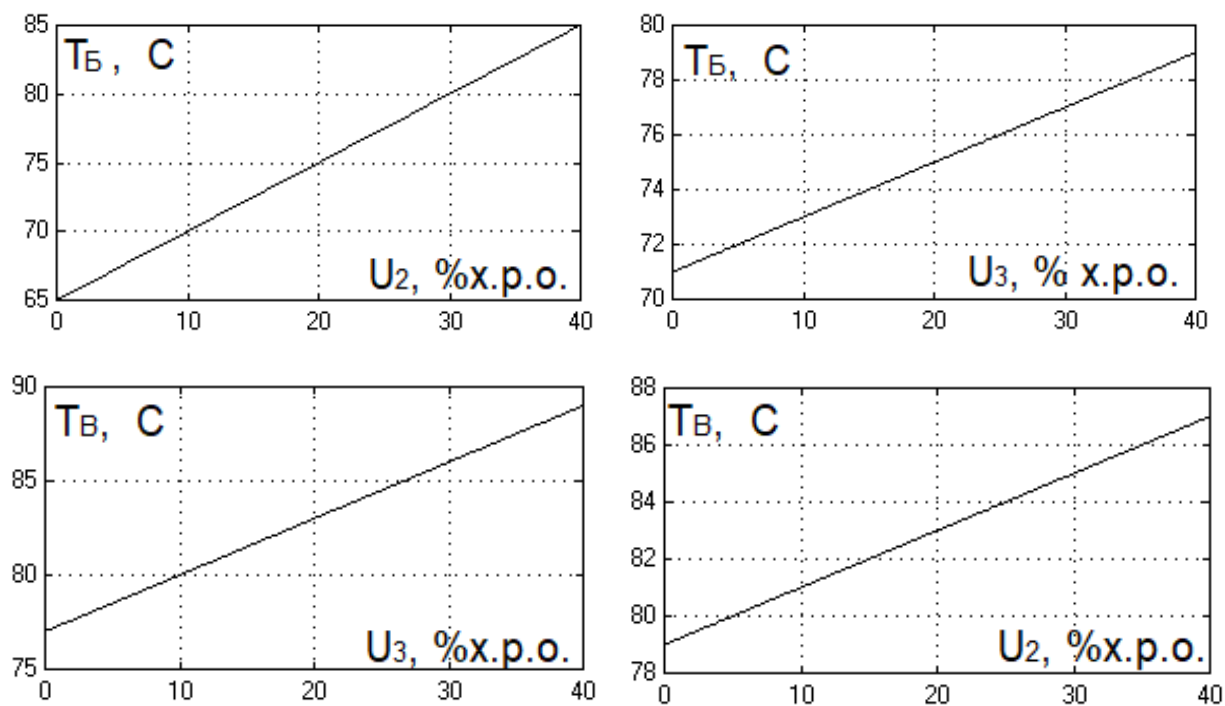


Рис. 2.24 – Результати моделювання статичних характеристик ОК

Як видно із графіків (рис. 2.24), моделі статичних характеристик точно відтворюють експериментальні дані.

Повна модель каналів ОК містить у собі моделі каналів управління з урахуванням статичної характеристики. Схема моделювання каналів ОК наведена на рис. 2.25, а результати моделювання – на рис. 2.26 – 4.15.

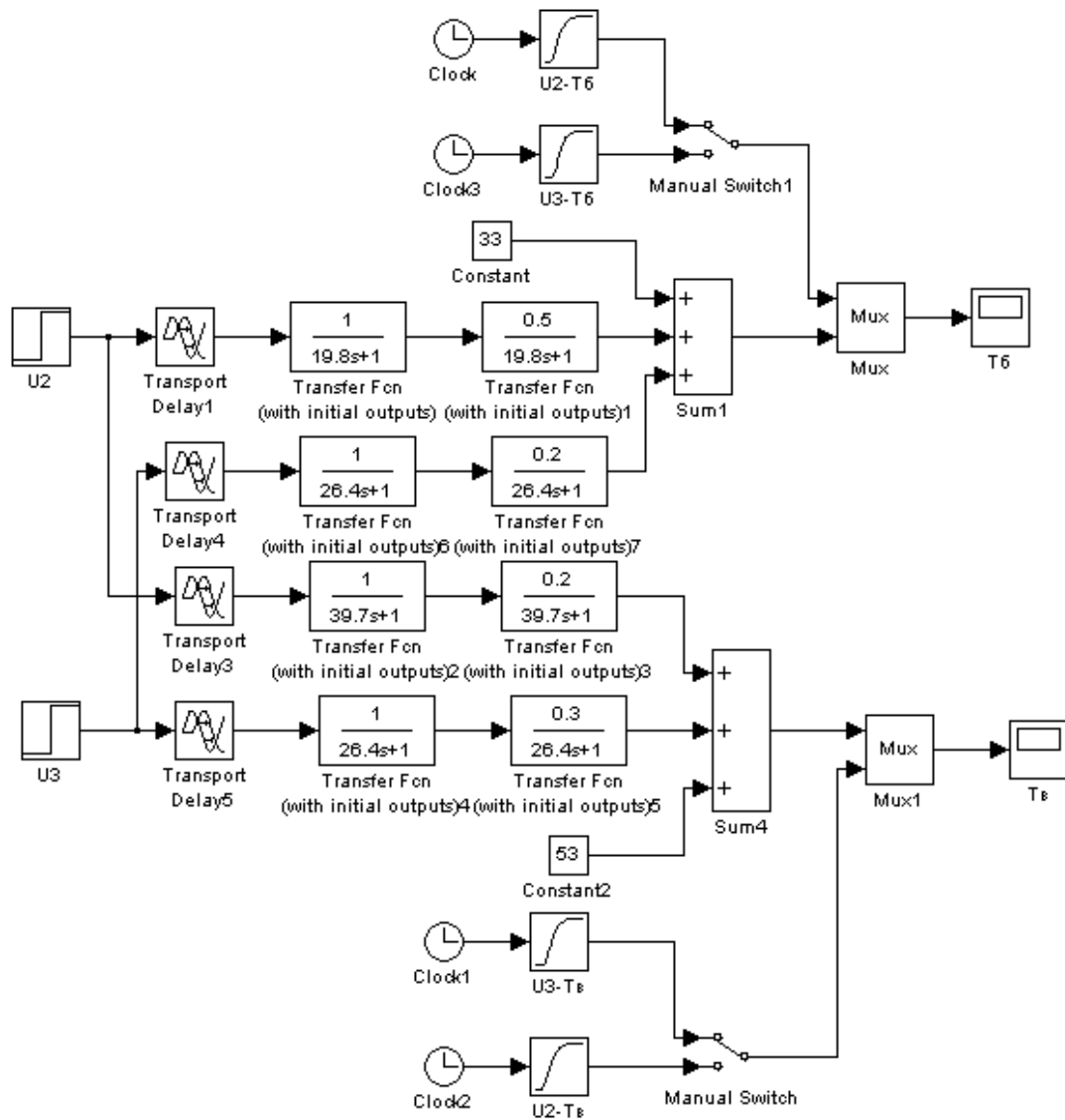


Рис. 2.25 – Схема моделювання повної моделі каналів ОК

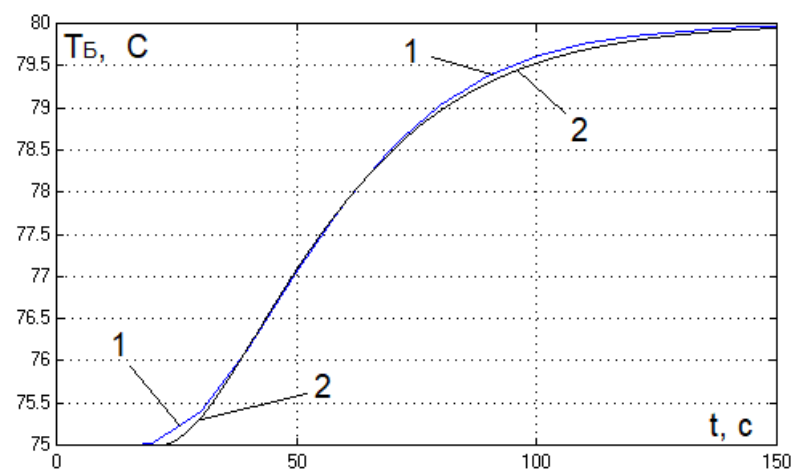


Рис. 2.26 – Результати моделювання за каналом «U₂ – T_B»: 1 – експериментальні дані, 2 - модель

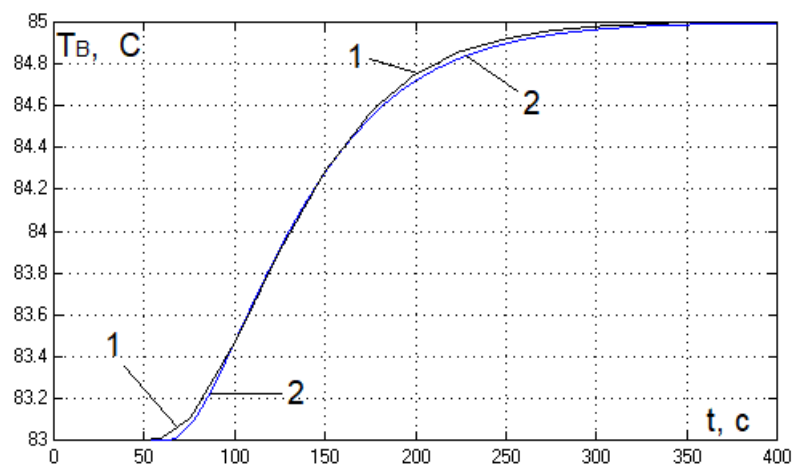


Рис. 2.27 – Результати моделювання за каналом « $U_2 - T_B$ »: 1 – експериментальні дані, 2 - модель

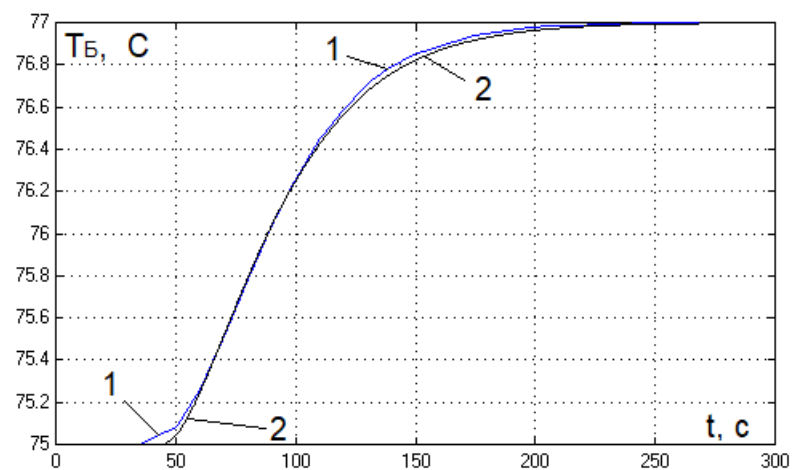


Рис. 2.28 – Результати моделювання за каналом « $U_3 - T_B$ »: 1 – експериментальні дані, 2 - модель

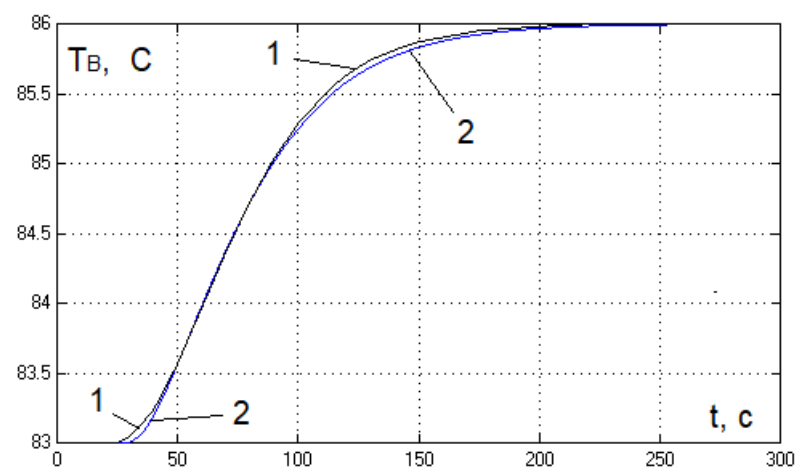


Рис. 2.29 – Результати моделювання за каналом « $U_3 - T_B$ »: 1 – експериментальні дані, 2 - модель

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

Для відтворення моделі збурень як стохастичних процесів (СП) із заданими властивостями будемо використовувати метод формуючого фільтру. Його можна представити у вигляді такої структурної схеми моделювання

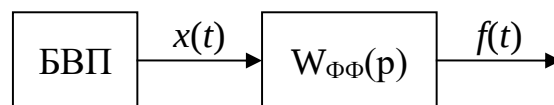


Рис. 2.30 – Структурна схема моделі СП

Для відтворення моделі стохастичного процесу із заданими властивостями спочатку треба визначити передаточну функцію формуючого фільтра $W_{\Phi\Phi}(p)$. Відомо, що спектральні щільності вхідного $x(t)$ і вихідного $f(t)$ сигналів взаємозалежні

$$|W_{\Phi\Phi}(j\omega)|^2 = \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)} = W_{\Phi\Phi}(j\omega) \cdot W_{\Phi\Phi}(-j\omega)$$

Якщо випадковий процес $x(t)$ має властивості білого шуму, то його спектральна щільність $S_x(\omega) = a = \text{const}$. Вона може бути розрахована за формулою

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_z}{3},$$

де G_x - середньоквадратичне відхилення процесу $x(t)$, Δt_z – крок генерації випадкового процесу.

Надалі до передаточної функції формуючого фільтра підставляють формули для спектральних щільностей вхідного й вихідного сигналу.

Для моделі №5

$$R_f(\tau_k) = D_f e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \cos(\beta|\tau_k|); \quad S_f(\omega) = \frac{D_f^2 2\alpha(\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2}$$

$$\begin{aligned}
S_f(j\omega) &= \frac{D_f 2\alpha(-(j)^2 \omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(-(j)^2 \omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 - 4\alpha^2(j)^2 \omega^2} = \\
&= \frac{D_f 2\alpha(\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} + j\omega) \cdot (\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} - j\omega)}{((j^2 \omega^2 + \beta^2 + \alpha^2) + 2\alpha j\omega) \cdot ((j^2 \omega^2 + \beta^2 + \alpha^2) - 2\alpha j\omega)} = \\
&= \frac{\sqrt{D_f 2\alpha}(\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} + j\omega)}{(j\omega)^2 + 2\alpha j\omega + \beta^2 + \alpha^2} \cdot \frac{\sqrt{D_f 2\alpha}(\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} - j\omega)}{(-j\omega)^2 - 2\alpha j\omega + \beta^2 + \alpha^2}
\end{aligned}$$

Бачимо, що
$$W_{\phi\phi}(j\omega) = \frac{\sqrt{2D_f\alpha}(j\omega + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2})}{(j\omega)^2 + 2\alpha j\omega + \alpha^2 + \beta^2}.$$

А після заміни

$$W_{\phi\phi}(j\omega) = \frac{\sqrt{2 \cdot D_f \cdot \alpha} \cdot (p + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2})}{p^2 + 2\alpha p + \alpha^2 + \beta^2} = \frac{\sqrt{2 \cdot D_f \cdot \alpha} \cdot (\alpha^2 + \beta^2) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} p + 1 \right)}{(\alpha^2 + \beta^2) \cdot \left(\frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} p^2 + \frac{2\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} p + 1 \right)}$$

.

Далі маємо
$$W_{\phi\phi}(p) = k \frac{Tp + 1}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1},$$

де
$$k = \frac{1}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{2D_f \cdot \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad \vartheta = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}.$$

$$\sigma_x = \sigma_f / 2 = 2,882 / 2 = 1,441$$

$$\Delta t_\Gamma = \frac{1}{(2 \dots 3)\alpha} = \frac{1}{3 \cdot 0,0018944} \dots \frac{1}{2 \cdot 0,0018944} = 176 \dots 264 \approx 200c$$

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_\Gamma}{3} = 1,441^2 \cdot \frac{2 \cdot 200}{3} = 277$$

$$k = \frac{1}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot D_f \cdot \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{277} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 8,306 \cdot 0,0018944}{0,0018944^2 + 0,0021569^2}} = \frac{1}{277} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 8,306 \cdot 0,0018944}{0,00000824}} =$$

0,22

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,0018944^2 + 0,0021569^2}} = 348$$

$$\vartheta = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{0,0018944}{\sqrt{0,0037^2 + 0,0077^2}} = 0,66$$

$$W_{\Phi\Phi}(p) = 0,22 \cdot \frac{348p + 1}{348^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,66 \cdot 348p + 1}$$

У параметрах блоку БВП необхідно встановити такі параметри:

Налаштування елемента Band-Limited White Noise:

Noise power = $S_x(\omega) = 277$;

Sample time = $\Delta t_{\Gamma} = 200$ с;

Seed = 1.

Кількість точок моделювання $N = 1024$

$T_p = N \cdot \Delta t_{\Gamma} = 1024 \cdot 200 = 204\,800$ с

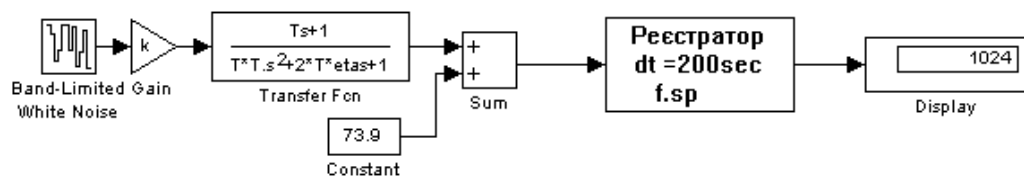


Рис. 2.31 – Схема моделювання для отримання параметрів формуючого фільтра

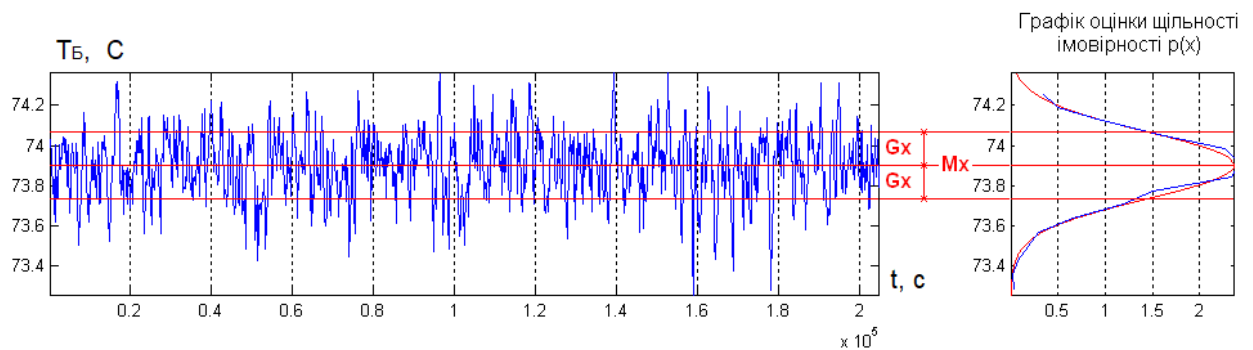


Рис. 2.32 – Результати оцінювання статистичних показників формуючого фільтра з розрахунковими параметрами

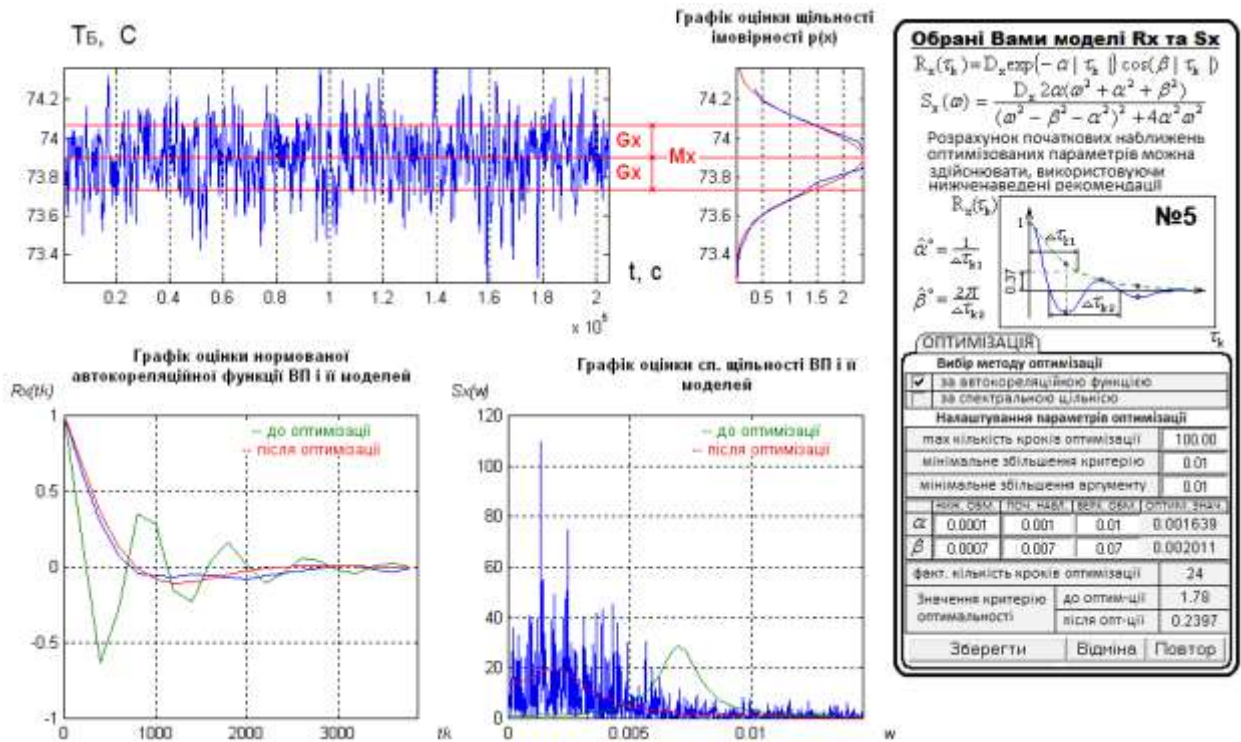


Рис. 2.32 (закінчення) – Результати оцінювання статистичних показників формуючого фільтра з розрахунковими параметрами

$$\Delta M = \frac{|M - \hat{M}|}{M} \cdot 100 = \frac{|73,9 - 73,9|}{73,9} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta \sigma = \frac{|\sigma - \hat{\sigma}|}{\sigma} \cdot 100 = \frac{|0,1684 - 2,882|}{0,1684} \cdot 100 = 1611\%$$

$$\Delta \alpha = \frac{|\alpha - \hat{\alpha}|}{\alpha} \cdot 100 = \frac{|0,001639 - 0,0018944|}{0,001639} \cdot 100 = 16\%$$

$$\Delta \beta = \frac{|\beta - \hat{\beta}|}{\beta} \cdot 100 = \frac{|0,002011 - 0,0021569|}{0,002011} \cdot 100 = 7\%$$

Похибка відтворення σ та α суттєво перевищує 5%, тому проведемо коригування коефіцієнту передачі формуючого фільтра:

$$k = \frac{\hat{\sigma}}{\sigma} \cdot k_{\Pi} = \frac{2,882}{0,1684} \cdot 0,22 = 3,76; T = 325 \text{ с}$$

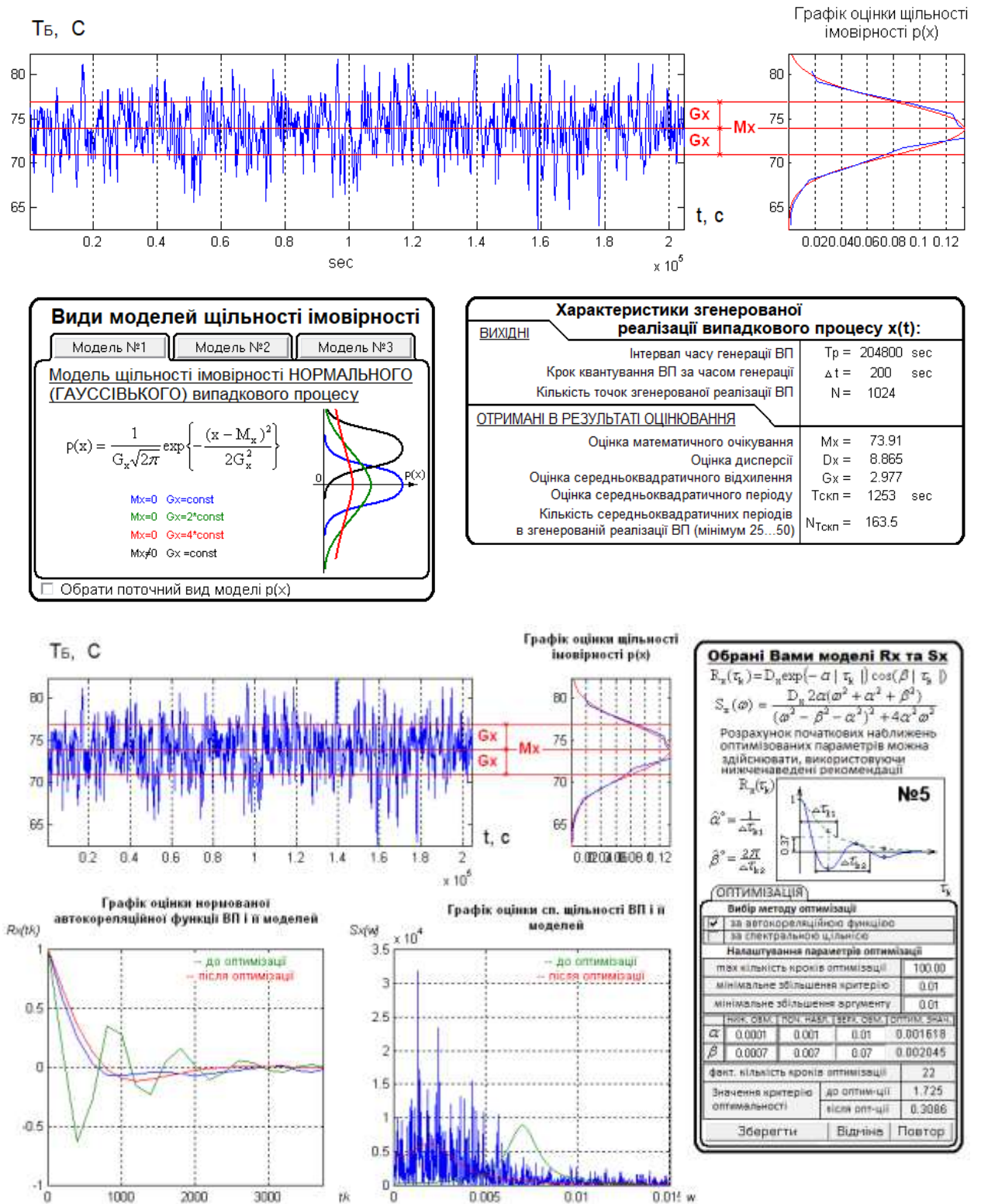


Рис. 2.33 – Результати оцінювання статистичних показників формуючого фільтра зі скоригованими параметрами

$$\Delta M = \frac{|M - \hat{M}|}{M} \cdot 100 = \frac{|73,91 - 73,9|}{73,91} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta \sigma = \frac{|\sigma - \hat{\sigma}|}{\sigma} \cdot 100 = \frac{|2,977 - 2,882|}{2,977} \cdot 100 = 3\%$$

$$\Delta \alpha = \frac{|\alpha - \hat{\alpha}|}{\alpha} \cdot 100 = \frac{|0,001618 - 0,0018944|}{0,001618} \cdot 100 = 17\%$$

$$\Delta \beta = \frac{|\beta - \hat{\beta}|}{\beta} \cdot 100 = \frac{|0,002045 - 0,0021569|}{0,002045} \cdot 100 = 5\%$$

Похибка відтворення M , σ , α і β менша від 5%, а значить точність моделі неконтрольованих збурень є достатньою.

Кінцева передаточну функцію формуючого фільтр.

$$W_{\Phi\Phi}(p) = 3,76 \cdot \frac{325p + 1}{105625 \cdot p^2 + 429p + 1}$$

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель неконтрольованих збурень. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 2.34, а результати моделювання – на рис. 2.35.

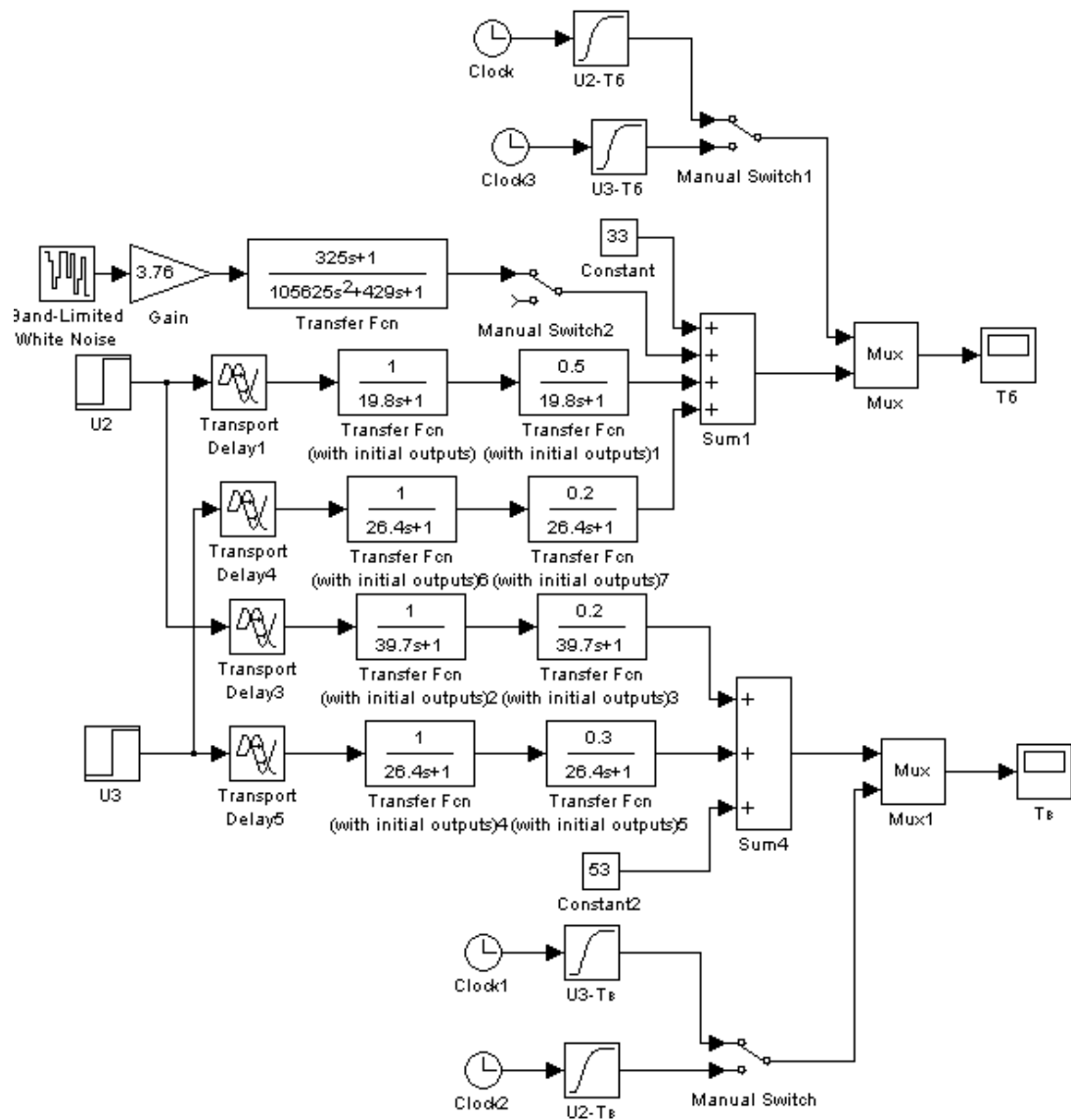


Рис. 2.34 – Схема моделювання повної моделі ОК

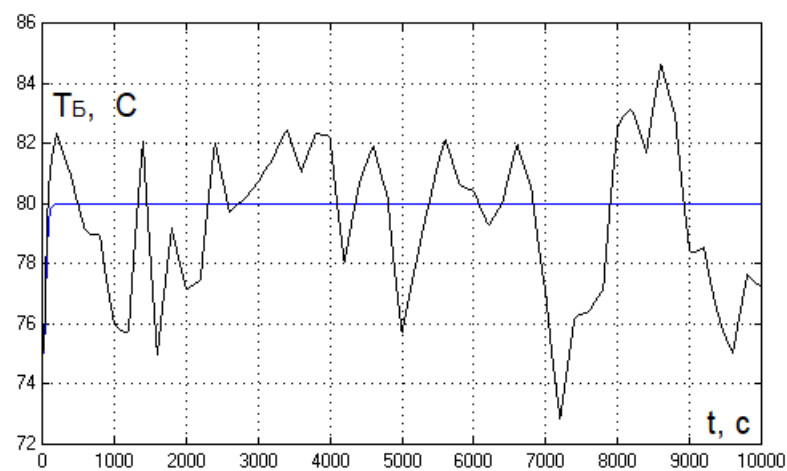


Рис. 2.35 – Результати моделювання повної моделі ОК

2.5 Висновки за розділом

В результаті виконання цього розділу була проведена ідентифікація моделі процесу сушіння солоду, 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 шахтній солодосушарці 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 параметрів стану об'єкту керування (T_B та T_V) на їх заданих значеннях ($T_B^{здн}$ та $T_V^{здн}$) – 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 - задача 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 сушіння солоду необхідно регулювати температуру нагрівання солоду в зонах Б (T_B) та В (T_V) солодосушарки.

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 сушіння солоду цю задачу можна вирішити, підвищивши вимоги до розв'язання задачі регулювання. Головним джерелом підвищення економічної ефективності цього процесу є зниження витрат енергії (пари).

Процес сушіння солоду є об'єктом неперервно-дискретної дії. Для нього є характерним цикл роботи у поєднанні з робочим тепловим режимом. 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 технологічного процесу температура солоду в зоні Б має підтримуватися на рівні $T_B^{3д} = 75^{\circ}\text{C}$, з точністю $\pm 2^{\circ}\text{C}$. За параметром можливі припустимі короточасні відхилення до $\pm 5^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 150с. Регламентна зона за параметром наведена на рисунку 3.1. Температура нагрівання солоду в зоні В має підтримуватися на рівні $T_B^{3д} = 83^{\circ}\text{C}$, з точністю $\pm 1^{\circ}\text{C}$. За параметром можливі припустимі короточасні відхилення до $\pm 3^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 150с. Регламентна зона за параметром наведена на рисунку 3.2.

Як видно з гранично припустимих регламентів на САР для процесу сушіння солоду, особливо жорсткі вимоги пред'являються до короточасних відхилень, оскільки саме недотримання цих регламентів може призвести до браку готової продукції завалу прес секції і суттєвих економічних збитків. При цьому малі відхилення регламентуються дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний модульний критерій.

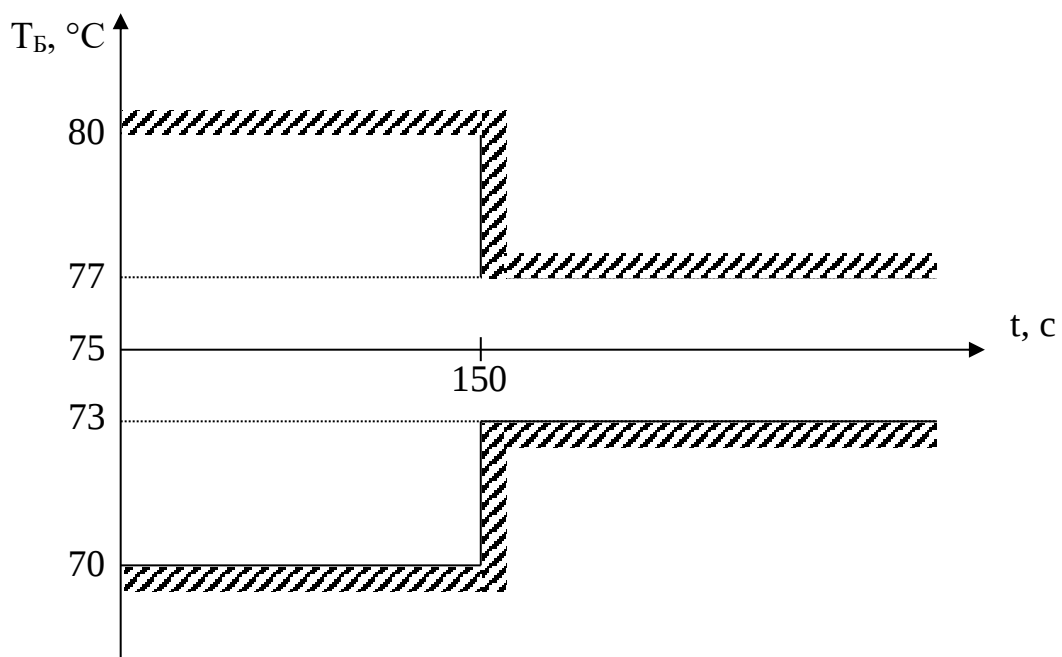


Рис. 3.1 – Регламентна зона за температурою нагрівання солоду в зоні Б

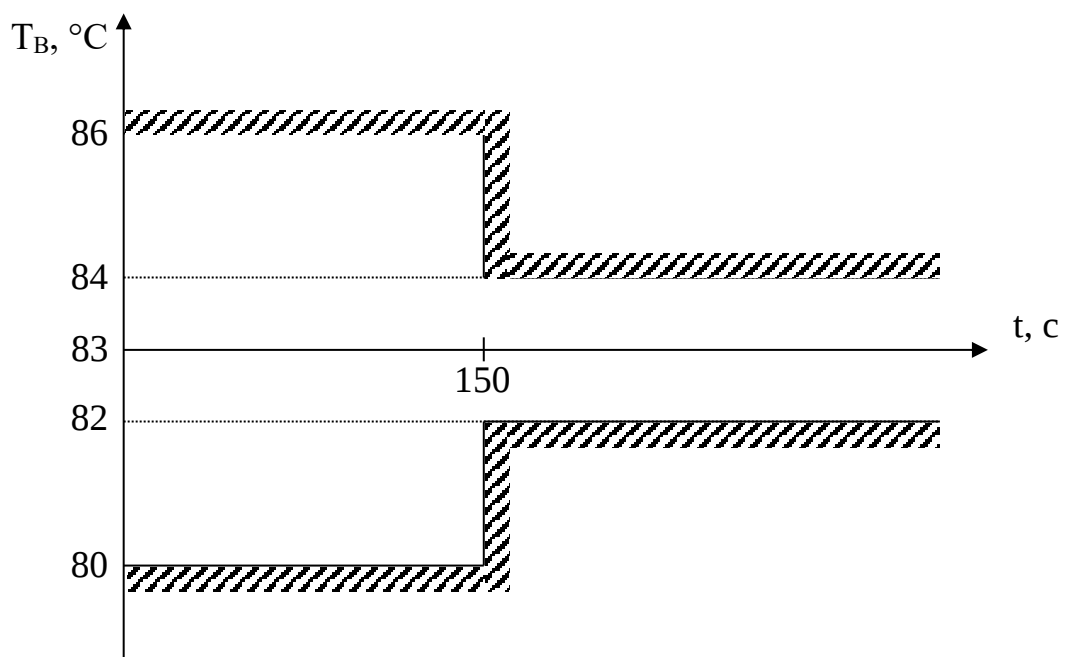


Рис. 3.2 – Регламентна зона за температурою нагрівання солоду в зоні В

Отже, ефективну роботу САР з регулювання температур нагрівання солоду в шахтній паровій солодосушарці, підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J = \int_0^{t_M} \left[\frac{|\Delta T_B(t)|}{2} + \frac{|\Delta T_B(t)|}{0,5} \right] dt$$

де t_M - час моделювання;

$\Delta T_B(t)$ – помилка регулювання температури нагрівання солоду в зоні Б;

$\Delta T_B(t)$ – помилка регулювання температури нагрівання солоду в зоні В.

Для вирішення задачі регулювання температур нагрівання солоду T_B та T_V достатнім буде використовувати замкнений принцип керування, у відповідності до якого для процесу керування достатньо використовувати інформацію про бажаний стан ОК та про його поточний стан.

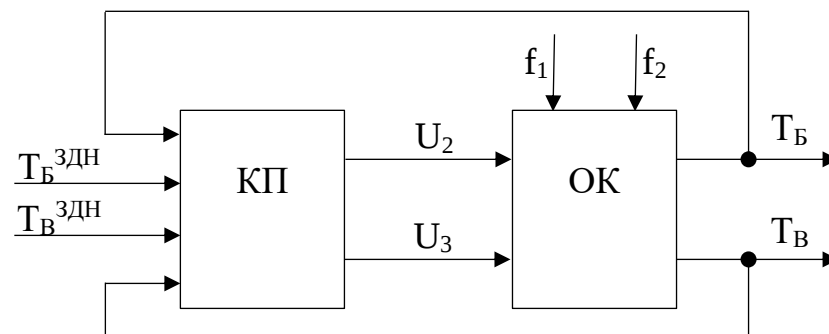


Рис. 3.3 – Структурна схема системи керування, що відповідає замкненому принципу керування

3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Відповідно до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування (рис. 3.3), структурна схема САР температур нагрівання солоду в шахтній паровій солодосушарці матиме вигляд, наведений на рис. 3.4.

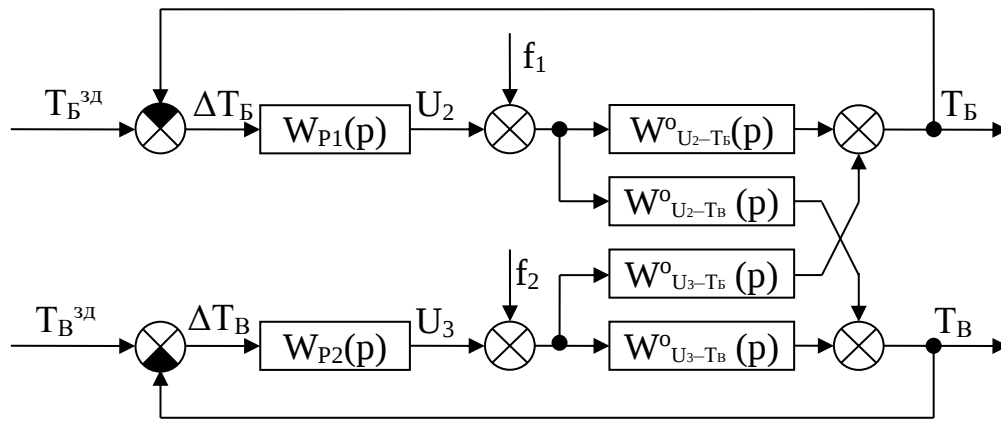


Рис. 3.4 – Структурна схема САР базової структури

На схемі $W_{P1}(p)$ - передаточна функція регулятора температури нагрівання солоду в зоні Б; $W_{P2}(p)$ - передаточна функція регулятора температури нагрівання солоду в зоні В; $T_B^{3ДН}$, $T_B^{3ДН}$ – задані значення регульованих координат; ΔT_B , ΔT_B – помилки регулювання.

Процес сушіння солоду 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

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{I3}} \int_0^T \Delta y(t) dt \right) + u_0$$

Передаточна функція ПІ-регулятора

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

Рівняння руху ПІД-регулятора

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{I3}} \int_0^T \Delta y(t) dt + T_{yП} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0$$

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p} + T_{D3}p\right)$$

Проведемо розрахунок початкових наближень параметрів регуляторів.
Для цього скористаємося інженерною методикою Копеловича А.П.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК каналу температури нагрівання солоду в зоні Б має вигляд:

$$W_{U_2-T_B}^O(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-33,6p}}{29,7p+1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_{P1} = \frac{0,8 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{0,8 \cdot 29,7}{0,5 \cdot 33,6} = 1,41\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I31} = 2,5 \cdot \tau_O = 2,5 \cdot 33,6 = 84 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

$$K_{P1} = \frac{1,0 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,0 \cdot 29,7}{0,5 \cdot 33,6} = 1,77\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I31} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 33,6 = 67,2 \text{ с}$$

$$T_{D31} = 0,5 \cdot \tau_O = 0,5 \cdot 33,6 = 16,8 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК каналу температури нагрівання солоду в зоні В має вигляд:

$$W_{U_3-T_B}^O(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-44,8p}}{39,6p+1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_{P2} = \frac{0,8 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{0,8 \cdot 39,6}{0,3 \cdot 44,8} = 2,36\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I32} = 2,5 \cdot \tau_O = 2,5 \cdot 44,8 = 112 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

$$K_{P2} = \frac{1,0 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,0 \cdot 39,6}{0,3 \cdot 44,8} = 2,95\% \text{х.р.о. } / ^\circ\text{C}$$

$$T_{I32} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 44,8 = 89,6 \text{ с}$$

$$T_{D32} = 0,5 \cdot \tau_O = 0,5 \cdot 44,8 = 22,4 \text{ с}$$

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.5. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 3.6.

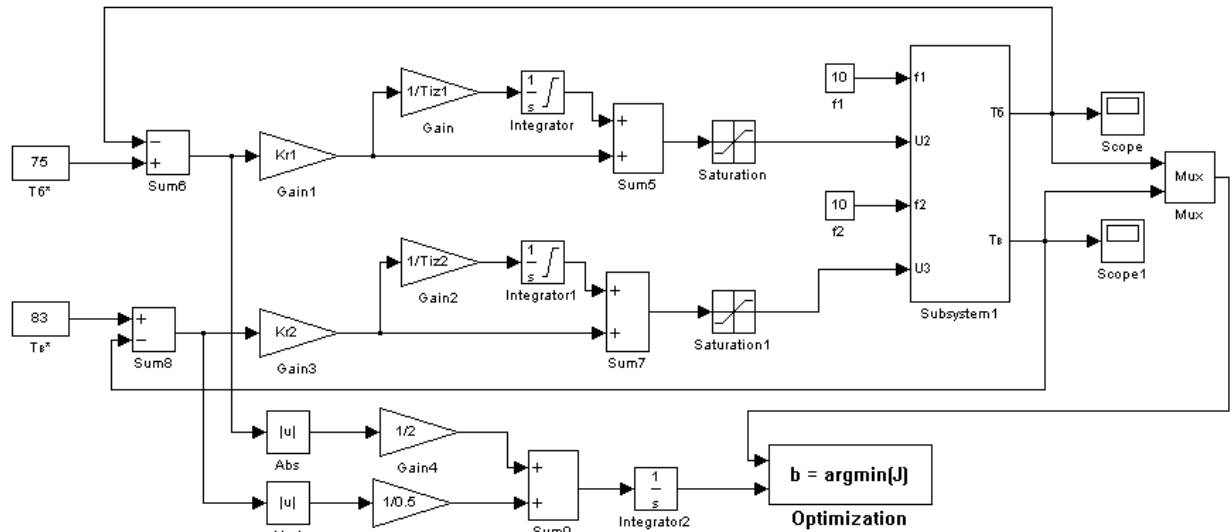
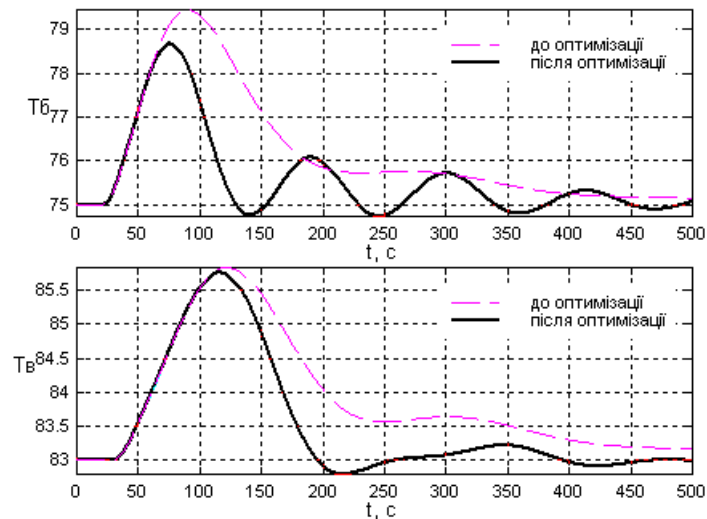


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	3.5903	0	1.41	10	до - 1177.7681
Tiz1	107.7298	1	84	500	після - 712.648
Kr2	2.0513	0	2.36	10	оптимізації.
Tiz2	51.0289	1	112	500	Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1500
					фактична - 264

Рис. 3.6 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.7. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рисунку 3.8.

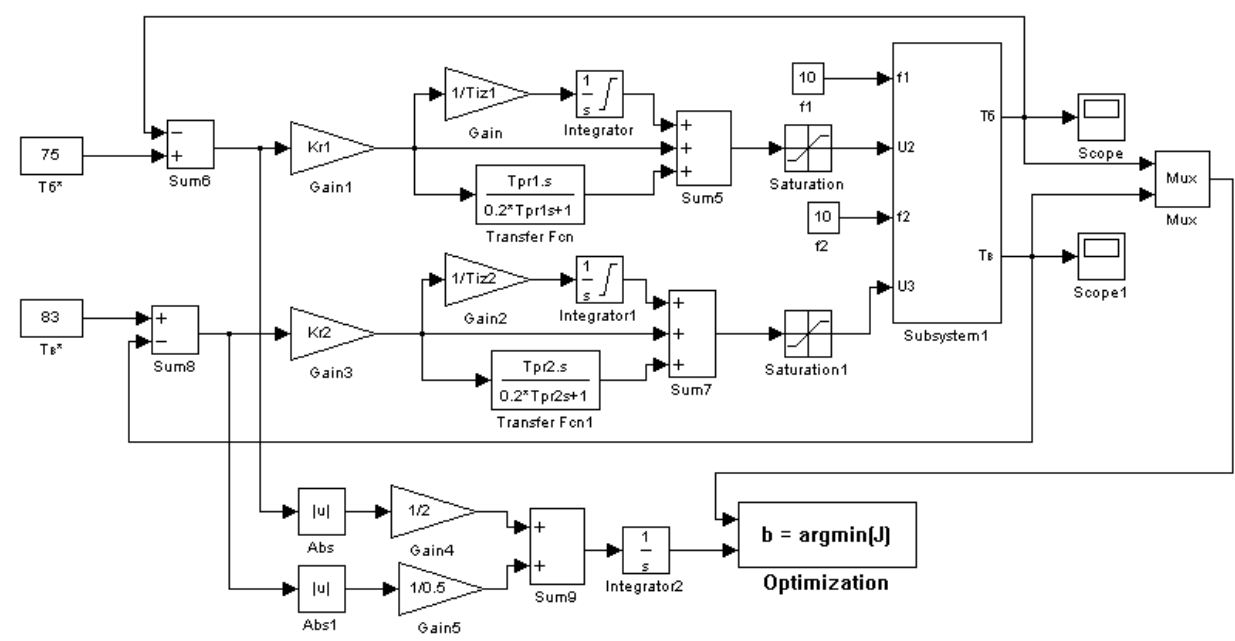
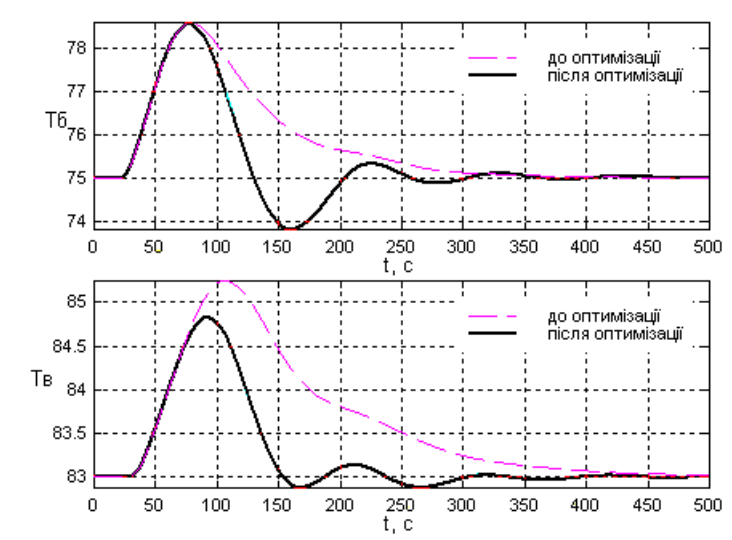


Рис. 3.7 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	1.9136	0	1.77	10	до - 792.3185
Tiz1	33.4676	1	67.2	500	після - 422.3711
Tpr1	12.9373	0	16.8	100	оптимізації.
Kr2	5.2145	0	2.95	10	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	60.9984	1	89.6	500	максимальна - 1500
Tpr2	25.6636	0	22.4	100	фактична - 529

Рис. 3.8 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів

Схема моделювання для порівняння САР з ПІ- та ПІД-регуляторами наведена на рис. 3.9. Результати порівняння САР з ПІ та ПІД-регулятором наведено на рис. 3.10 і в таблиці 3.1.

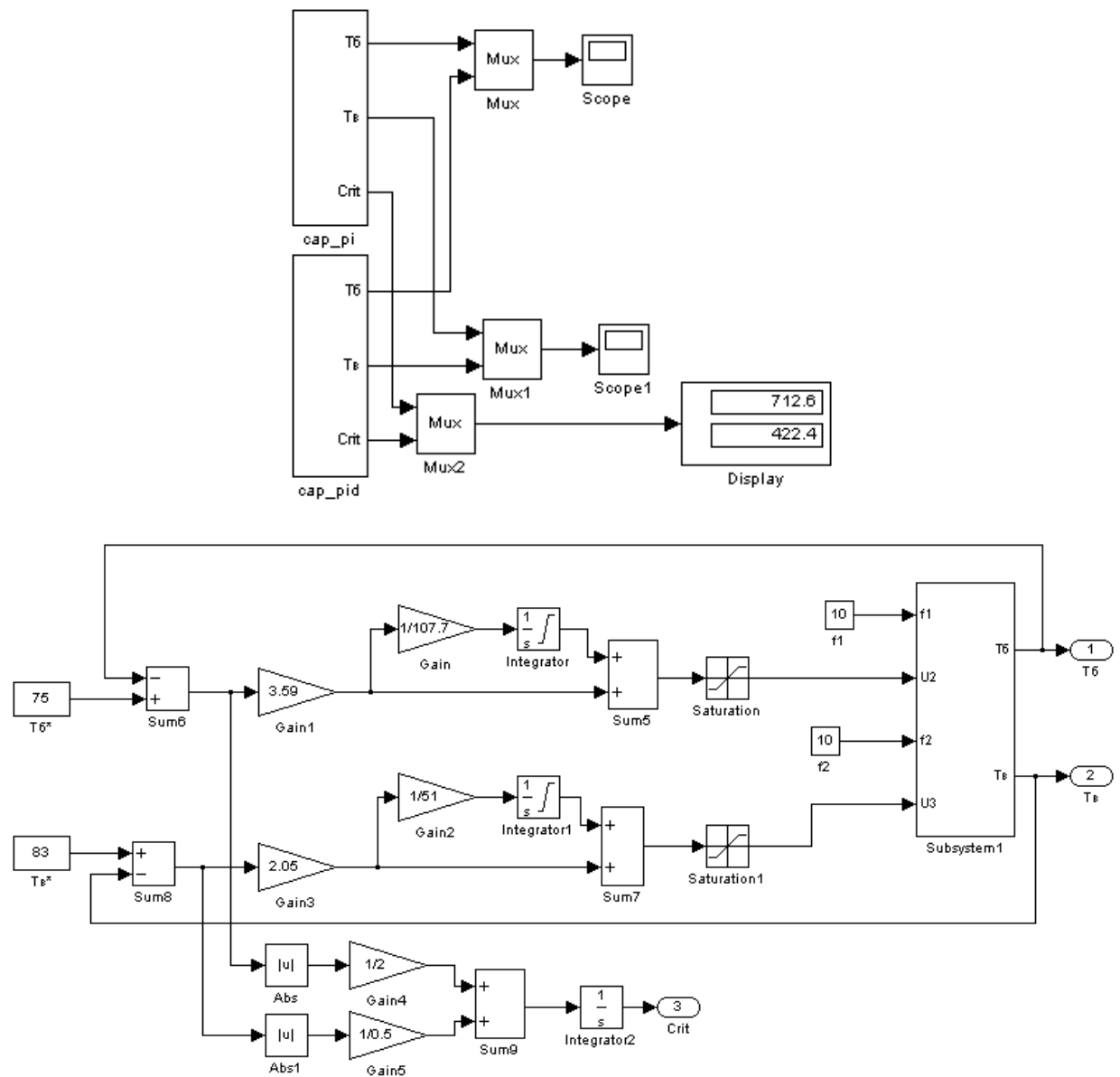


Рис. 3.9 – Схема моделювання для порівняння САР з ПІ- та ПІД-регуляторами

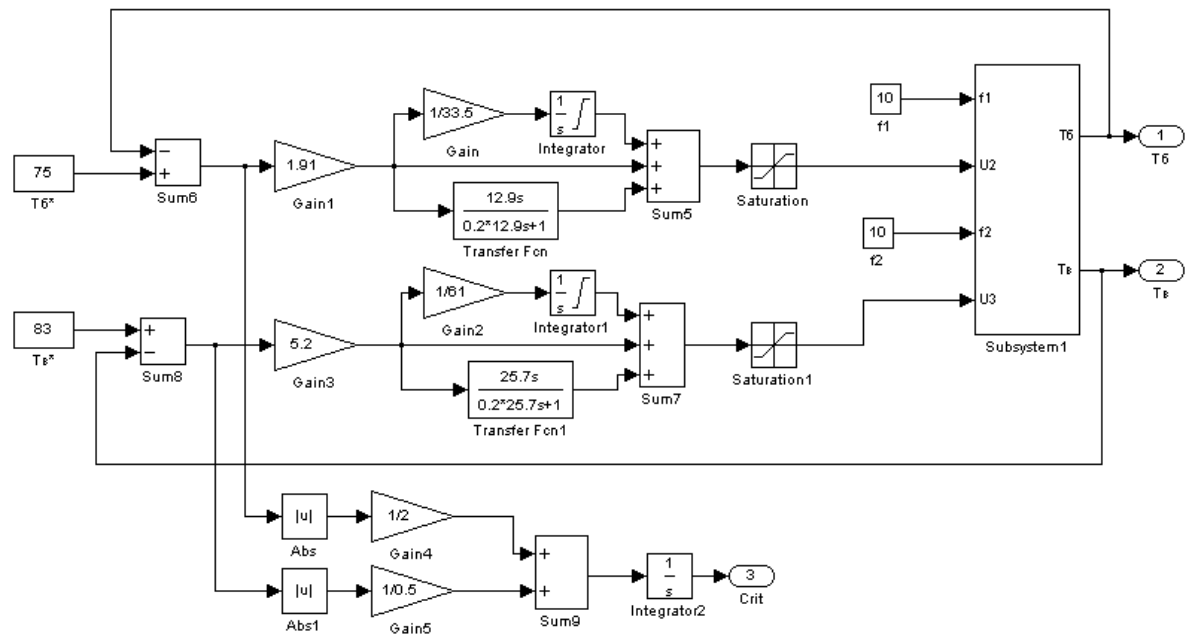


Рис. 3.9 (закінчення) – Схема моделювання для порівняння САР з ПІ- та ПІД-регуляторами

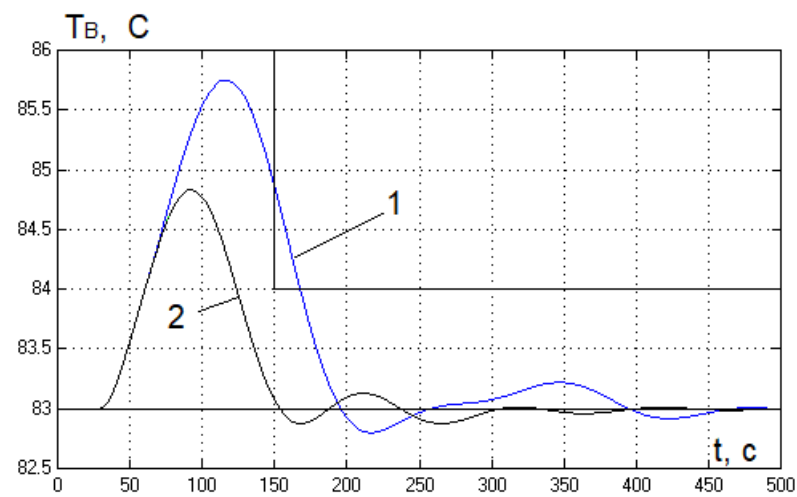
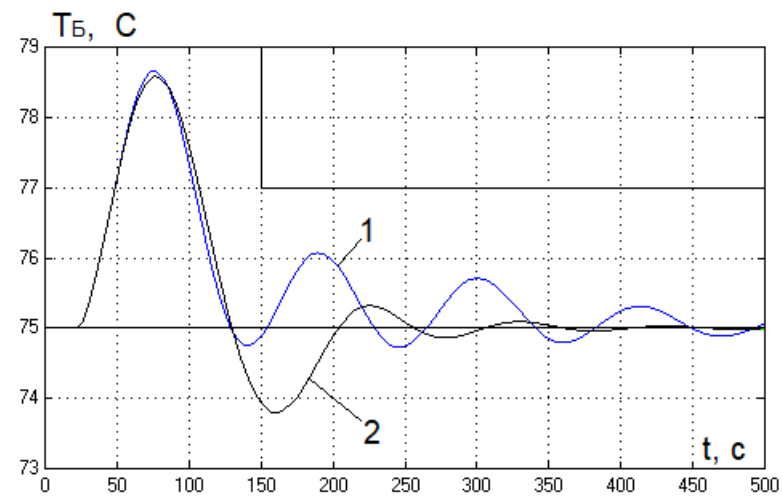


Рис. 3.10 – Результати порівняння САР з ПІ (1) та ПІД-регулятором (2)

Таблиця 3.1 – Результати порівняння варіантів САР

САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_B^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп1}}, \text{с}$	$\Delta T_B^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп2}}, \text{с}$	
ПІ	3,67	103,6	2,75	167,6	712,65
ПІД	3,58	106,8	1,83	123,6	422,4

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів, САР з ПІД-регуляторами є кращою за усіма показниками.

Проведемо аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК

В процесі роботи ділянки сушіння солоду внаслідок нелінійності запізнення в каналах моделі ОК можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на грубість слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень $10\% \times \text{р.о.}$ Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором на грубість наведені вище на рис. 3.6 та 3.7. Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.11, а САР з ПІД-регулятором – на рис. 3.12. Як видно з результатів, САР з ПІ-регуляторами та з ПІД-регуляторами є грубими.

«Найсприятливішою» для керування є САР з ПІ-регуляторами з часами запізнення в каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень. «Найнесприятливішою» для керування є САР з ПІ-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, на 20% більших від номінальних значень.

«Найсприятливішою» для керування є САР з ПІД-регуляторами з часами запізнення в каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень. «Найнесприятливішою» для керування є САР з ПІД-регулятором з часами запізнення в каналах прямих каналах ОК, на 20% більших від номінальних значень, а в перехресних каналах на 20% менших від номінальних значень.

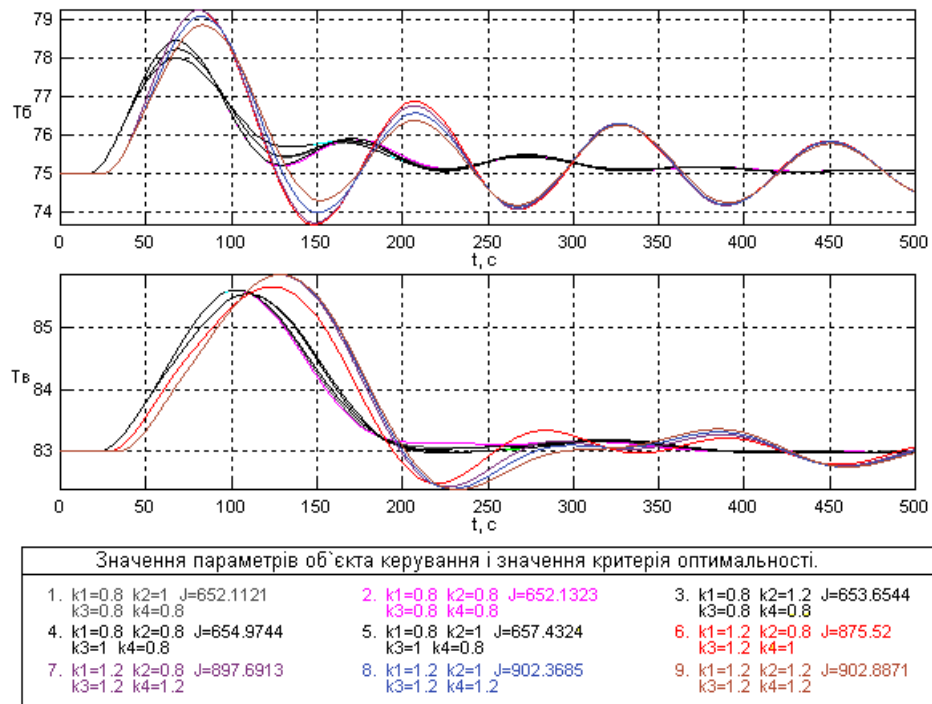


Рис. 3.11 – Аналіз на грубість САР з ПІ-регуляторами

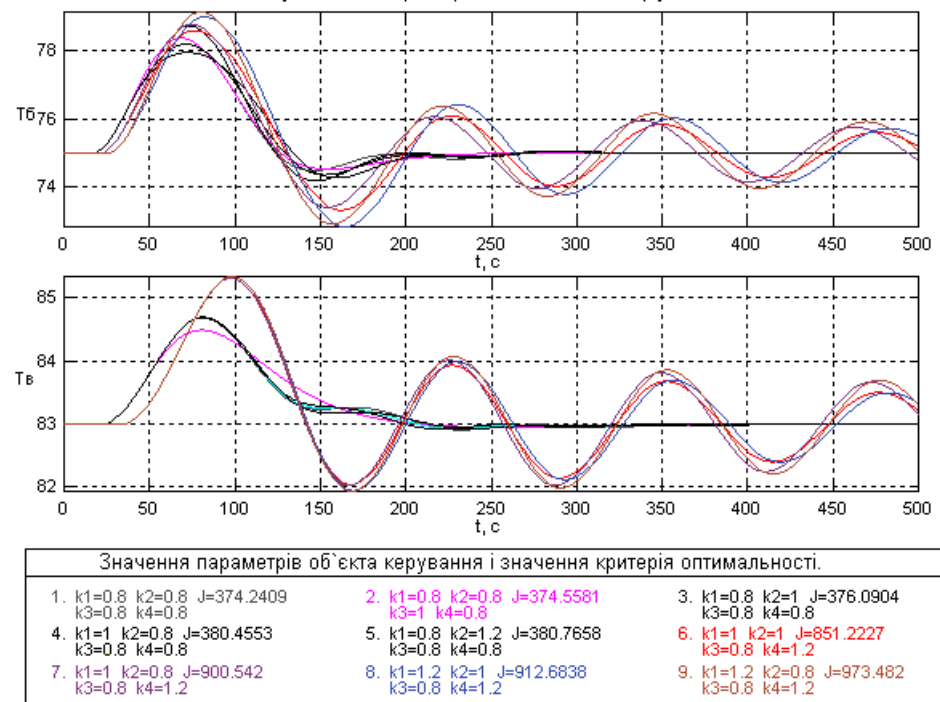


Рис. 3.12 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регуляторами

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 заданих значень регульованих координат, а також внутрішні особливості ОК і САР (значне співвідношення t_0 / T_0 , взаємний вплив каналів в багатовимірній САР).

Для САР температур нагрівання солоду основною причиною недостатньої динамічної точності САР може бути дія перехресних зв'язків в ОК. Основним шляхом підвищення динамічної точності саме розглянутої САР є побудова автономної САР.

В основу підвищення динамічної точності САР буде покладено принцип двоканальності Петрова, суть якого у введенні додаткового каналу впливу через коригуючий зв'язок. Відповідно до принципу інваріантності Петрова структурна схема автономної САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.13.

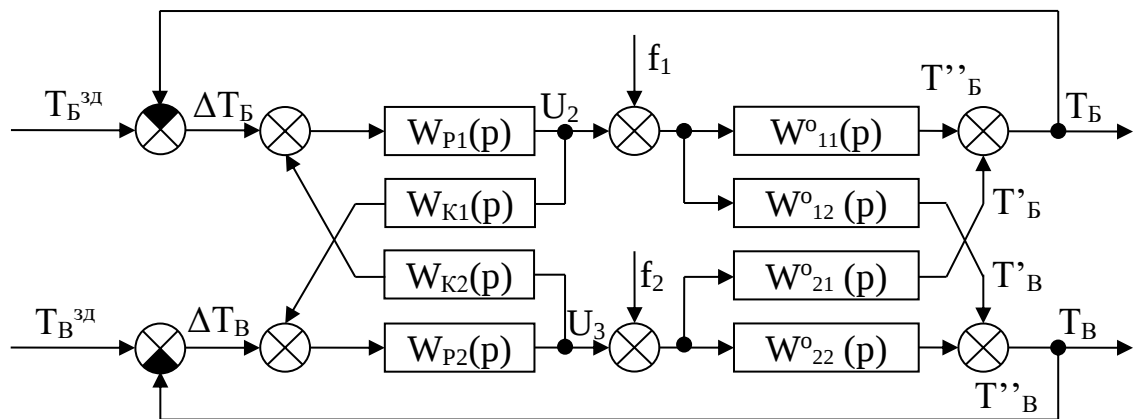


Рис. 3.13 – Структурна схема автономної САР

Виведемо передаточні функції коригуючих зв'язків.

$$T'_B + T''_B = T_B = 0$$

$$T'_B = U_2 \cdot W_{12}^O(p); \quad T''_B = U_2 \cdot W_{K1}(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p)$$

$$U_2 \cdot W_{12}^O(p) + U_2 \cdot W_{K1}(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p) = 0$$

$$U_2 \cdot W_{K1}(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p) = -U_2 \cdot W_{12}^O(p)$$

$$W_{K1}(p) = -\frac{W_{12}^O(p)}{W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p)}$$

$$W_{12}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-87p}}{59,6p+1}; W_{22}^O(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-44,8p}}{39,6p+1};$$

$$W_{P2}(p) = 5,2 \cdot \left(1 + \frac{1}{61p} + 25,76p\right) = 5,2 \cdot \frac{1571,4p^2 + 61p + 1}{61p}$$

$$\begin{aligned} W_{K1}(p) &= -\frac{\frac{0,2 \cdot e^{-87p}}{59,6p+1}}{5,2 \cdot \frac{1571,4p^2 + 61p + 1}{61p} \cdot \frac{0,3 \cdot e^{-44,8p}}{39,6p+1}} \\ &= -\frac{0,2}{5,2 \cdot 0,3} \cdot e^{-87p+44,8p} \cdot \frac{61p \cdot (39,6p+1)}{(59,6p+1) \cdot (571,4p^2 + 61p + 1)} \end{aligned}$$

$$W_{K1}(p) = -0,13 \cdot e^{-42,2p} \cdot \frac{61p \cdot (39,6p+1)}{(59,6p+1) \cdot (571,4p^2 + 61p + 1)}$$

Передаточна функція коригуючого зв'язку є фізично реалізовуваною.

$$T'_B + T''_B = T_B = 0$$

$$T'_B = U_3 \cdot W_{21}^O(p); \quad T''_B = U_3 \cdot W_{K2}(p) \cdot W_{P1}(p) \cdot W_{11}^O(p)$$

$$U_3 \cdot W_{21}^O(p) + U_3 \cdot W_{K2}(p) \cdot W_{P1}(p) \cdot W_{11}^O(p) = 0$$

$$U_3 \cdot W_{K2}(p) \cdot W_{P1}(p) \cdot W_{11}^O(p) = -U_3 \cdot W_{21}^O(p)$$

$$W_{K2}(p) = -\frac{W_{21}^O(p)}{W_{P1}(p) \cdot W_{11}^O(p)}$$

$$W_{21}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-59,8p}}{39,6p+1}; W_{11}^O(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-33,6p}}{29,7p+1};$$

$$W_{P1}(p) = 1,91 \cdot \left(1 + \frac{1}{33,5p} + 12,9p\right) = 1,91 \cdot \frac{432,1p^2 + 33,5p + 1}{33,5p}$$

$$\begin{aligned} W_{K2}(p) &= -\frac{W_{21}^O(p)}{W_{P1}(p) \cdot W_{11}^O(p)} = -\frac{\frac{0,2 \cdot e^{-59,8p}}{39,6p+1}}{1,91 \cdot \frac{432,1p^2 + 33,5p + 1}{33,5p} \cdot \frac{0,5 \cdot e^{-33,6p}}{29,7p+1}} \\ &= -\frac{0,2}{1,91 \cdot 0,5} \cdot e^{-59,8p+33,6p} \cdot \frac{33,5p \cdot (29,7p+1)}{(39,6p+1) \cdot (432,1p^2 + 33,5p + 1)} \\ &= -0,21 \cdot e^{-26,2p} \cdot \frac{33,5p \cdot (29,7p+1)}{(39,6p+1) \cdot (432,1p^2 + 33,5p + 1)} \end{aligned}$$

Передаточна функція коригуючого зв'язку є фізично реалізовуваною.

Розкладемо передаточні функції коригуючих зв'язків на типові ланки, скласти схеми моделювання, отримаємо перехідні характеристики розрахункових фізично реалізованих коригуючих зв'язків.

$$W_{K1}(p) = -0,13 \cdot e^{-42,2p} \cdot \frac{61p \cdot (39,6p + 1)}{(59,6p + 1) \cdot (571,4p^2 + 61p + 1)}$$

$$= -0,13 \cdot e^{-42,2p} \cdot \frac{39,6p + 1}{59,6p + 1} \cdot \frac{61p}{571,4p^2 + 61p + 1}$$

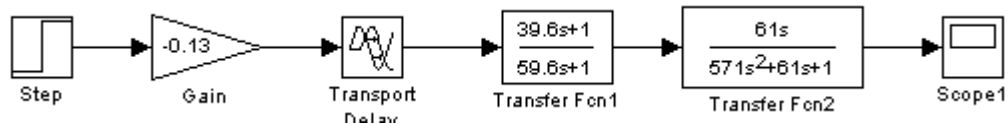


Рис. 3.14 – Сема моделювання коригуючого зв'язку $W_{K1}(p)$

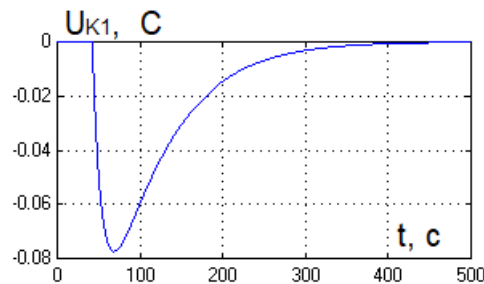


Рис. 3.15 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку $W_{K1}(p)$

$$W_{K2}(p) = -0.21 \cdot e^{-26,2p} \cdot \frac{33,5p \cdot (29,7p + 1)}{(39,6p + 1) \cdot (432,1p^2 + 33,5p + 1)}$$

$$= -0.21 \cdot e^{-26,2p} \cdot \frac{29,7p + 1}{39,6p + 1} \cdot \frac{33,5p}{432,1p^2 + 33,5p + 1}$$

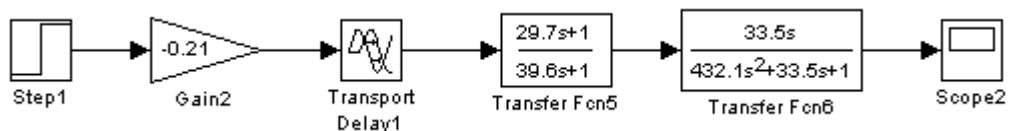


Рис. 3.16 – Структурна схема моделювання коригуючого зв'язку $W_{K2}(p)$

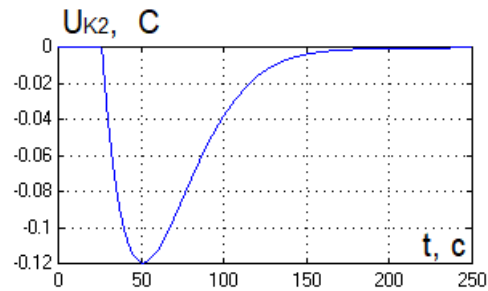


Рис. 3.17 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку $W_{K2}(p)$

Спростимо передаточні функції коригуючих зв'язків

$$W_{K1}(p) = -0,13 \cdot e^{-42,2p} \cdot \frac{39,6p + 1}{59,6p + 1} \cdot \frac{61p}{571,4p^2 + 61p + 1}$$

$$\approx K_{K1} \cdot e^{-T_{K11}p} \cdot \frac{T_{K12}p}{(T_{K12}p + 1)^2}$$

Попередні значення параметрів коригуючого зв'язку $W_{K1}(p)$:

$$T_{K11} = 42,2\text{с}; T_{K12} = \sqrt{571,4} = 23,9; K_{K1} = \frac{-0,13 \cdot 61}{23,9} = -0,33$$

$$W_{K2}(p) = -0,21 \cdot e^{-26,2p} \cdot \frac{29,7p + 1}{39,6p + 1} \cdot \frac{33,5p}{432,1p^2 + 33,5p + 1}$$

$$\approx K_{K2} \cdot e^{-T_{K21}p} \cdot \frac{T_{K22}p}{(T_{K22}p + 1)^2}$$

Попередні значення параметрів коригуючого зв'язку $W_{K2}(p)$:

$$T_{K21} = 26,2\text{с}; T_{K22} = \sqrt{432,1} = 20,8; K_{K2} = \frac{-0,21 \cdot 33,5}{20,8} = -0,34$$

Уточнимо параметри спрощеного коригуючого зв'язку $W_{K1}(p)$.

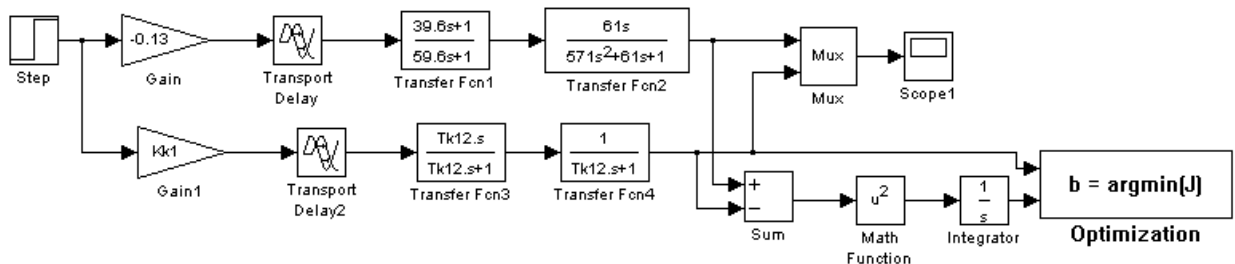
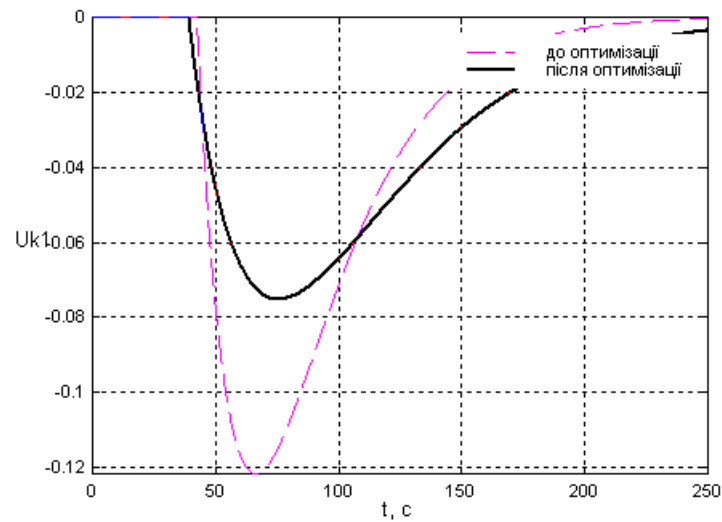


Рис. 3.18 – Сема моделювання для уточнення параметрів коригуючого зв'язку $W_{K1}(p)$



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk1	-0.20426	-10	-0.33	0	до - 0.080098
Tk11	39.1638	1	42.2	100	після - 0.0033445
Tk12	36.3289	1	23.9	100	оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1500
					фактична - 115

Рис. 3.19 – Результати уточнення параметрів спрощеного коригуючого зв'язку $W_{k1}(p)$

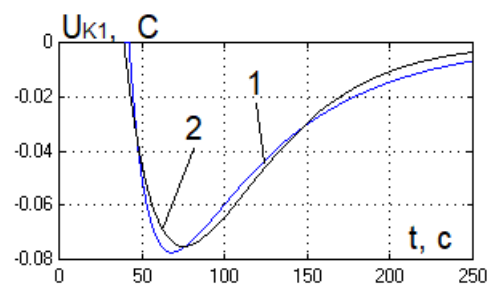


Рис. 3.20 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку $W_{k1}(p)$: 1 – розрахункова, 2 – спрощена

Уточнимо параметри спрощеного коригуючого зв'язку $W_{k2}(p)$.

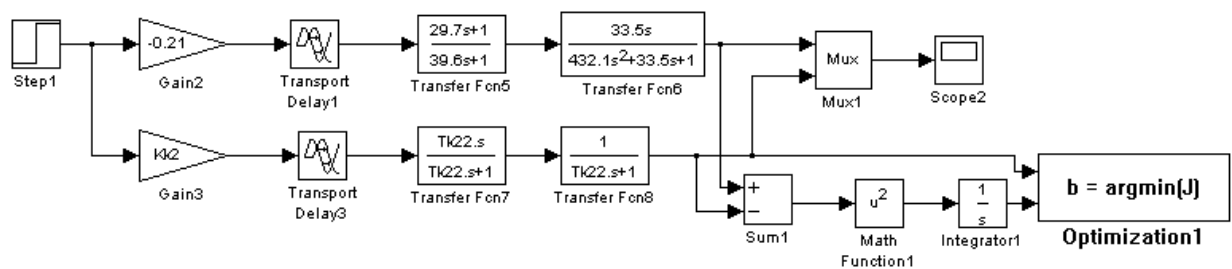


Рис. 3.21 – Сема моделювання для уточнення параметрів коригуючого зв'язку $W_{k2}(p)$

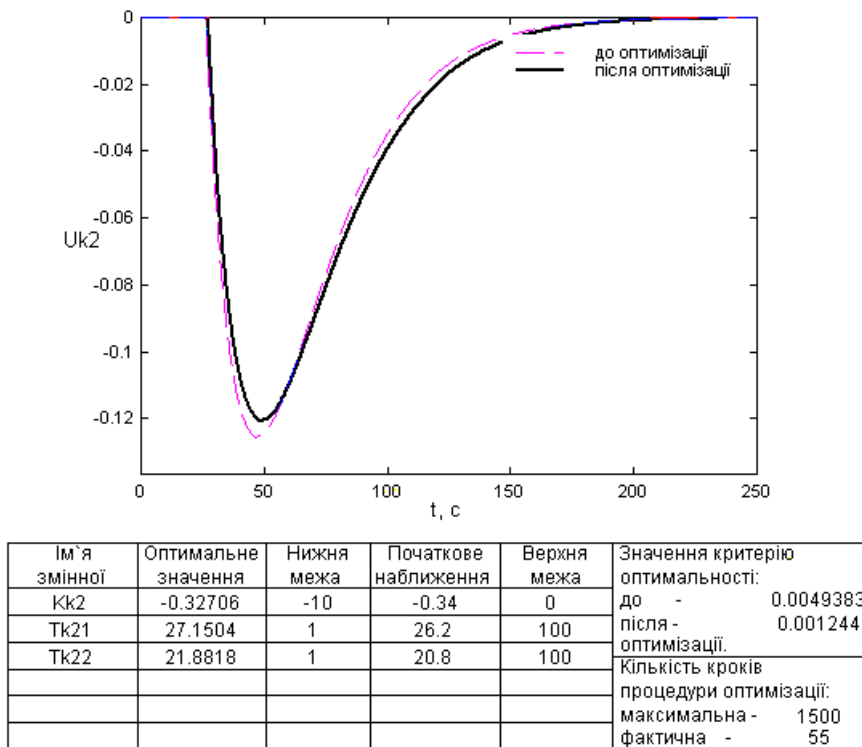


Рис. 3.22 – Результати уточнення параметрів спрощеного коригуючого зв'язку $W_{K2}(p)$

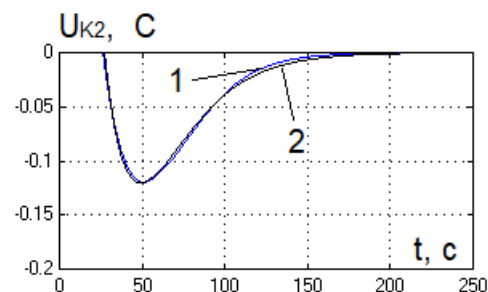


Рис. 3.23 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку $W_{K2}(p)$: 1 – розрахункова, 2 – спрощена

Проведемо оптимізацію налаштувань коригуючих зв'язків у складі САР з параметрично оптимальними регуляторами. Схема моделювання автономної САР наведена на рис. 3.24, результати оптимізації – на рис. 3.25.

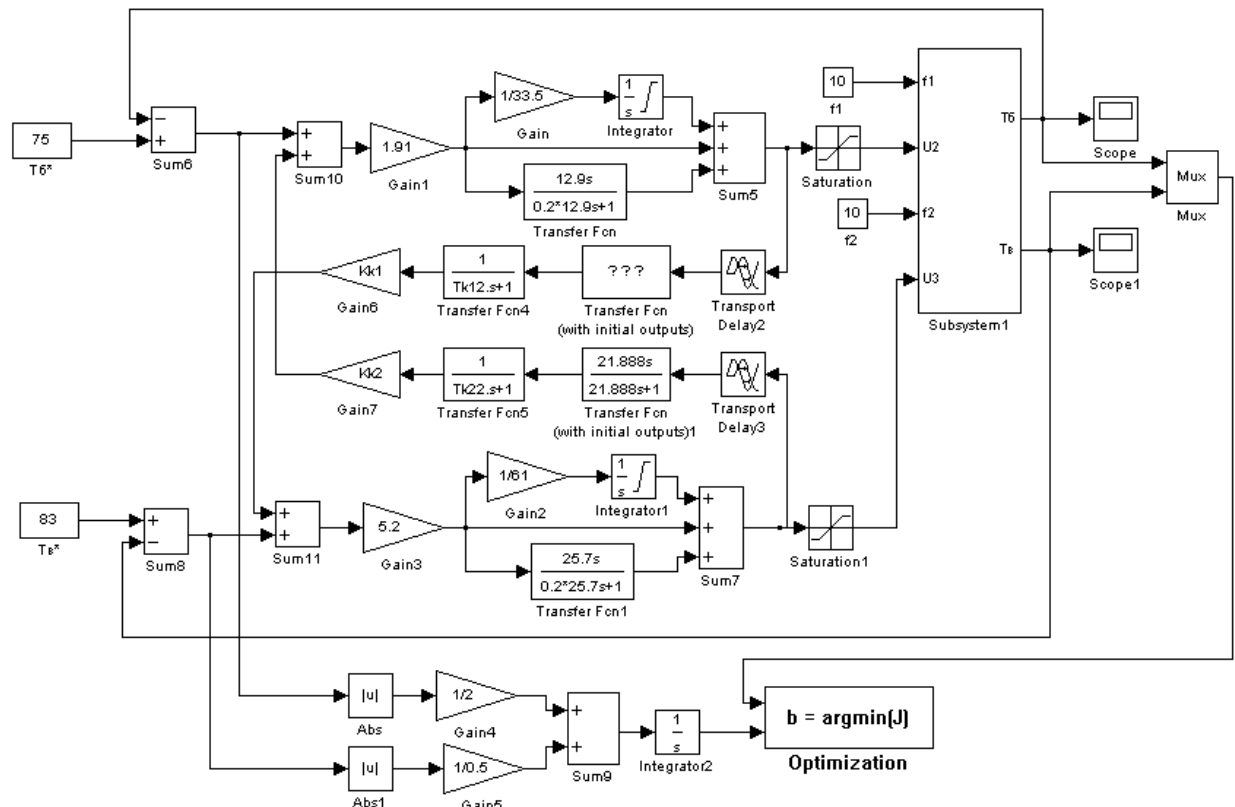
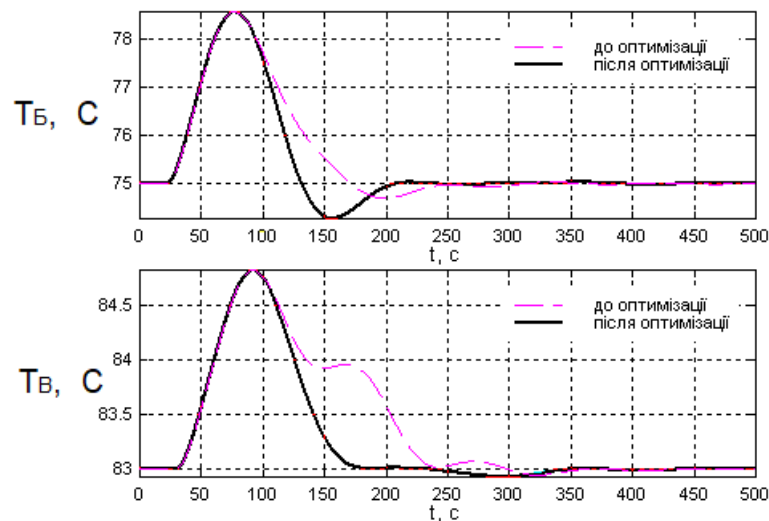


Рис. 3.24 – Схема моделювання автономної САР



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk1	-0.24632	-10	-0.2	0	до - 530.0875
Tk11	56.0067	1	39.2	100	після - 400.7175
Tk12	2.3084	1	36.3	100	оптимізації.
Kk2	-0.093186	-10	-0.33	0	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tk21	50.902	1	27.2	100	максимальна - 1500
Tk22	18.6685	1	21.9	100	фактична - 861

Рис. 3.25 –Результати оптимізації на лаштувань коригуючи зв'язків у складі автономної САР

САР підвищеної динамічної точності досліджуємо на грубість в умовах варіації параметрів ОК, а саме, часів запізнення в каналах ОК $\pm 20\%$.

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК, отриманої в результаті оптимізації налаштувань коригуючого зв'язку наведені на рис. 3.26.

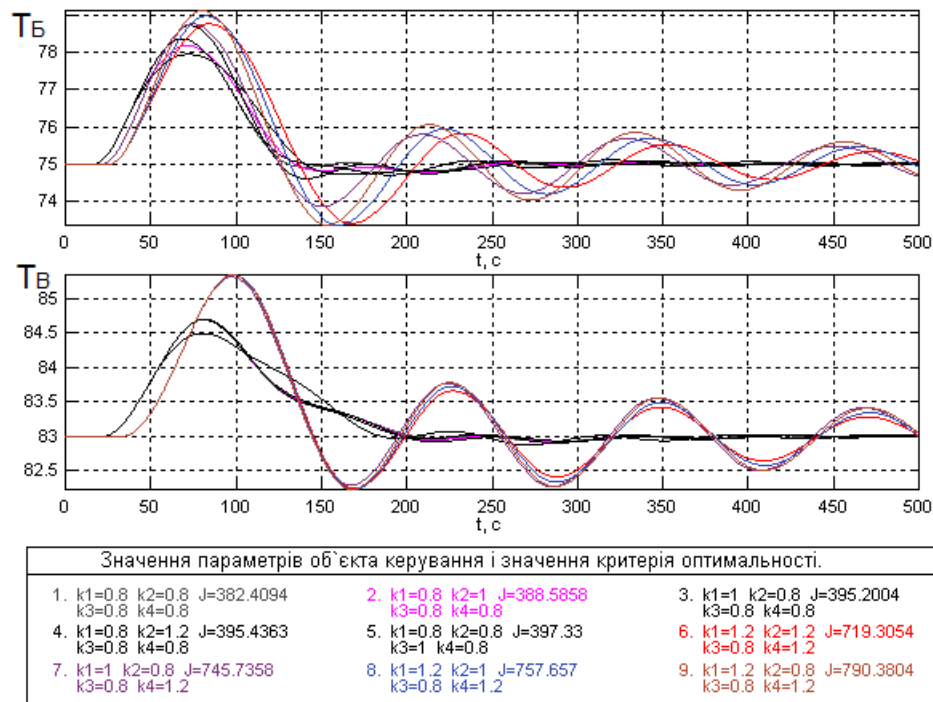


Рис. 3.26 – Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності після оптимізації налаштувань коригуючого зв'язку на грубість

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОК, САР підвищеної динамічної точності є грубою.

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

Для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.27. Результати порівняння наведені на рис. 3.28 і в таблиці 3.2.

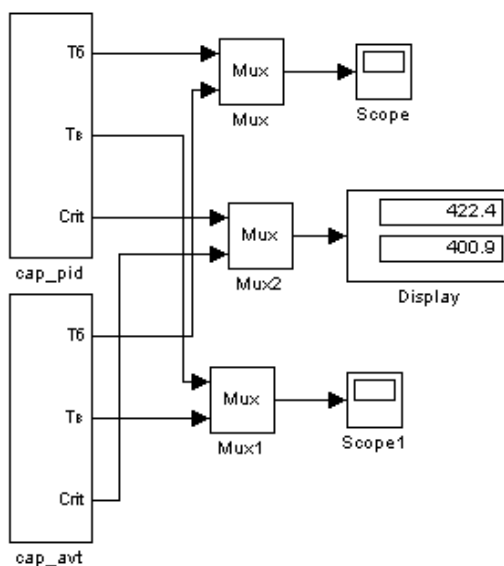


Рис. 3.27 – Структурну схему моделювання для порівняння якості роботи CAP базової структури і CAP підвищеної динамічної точності

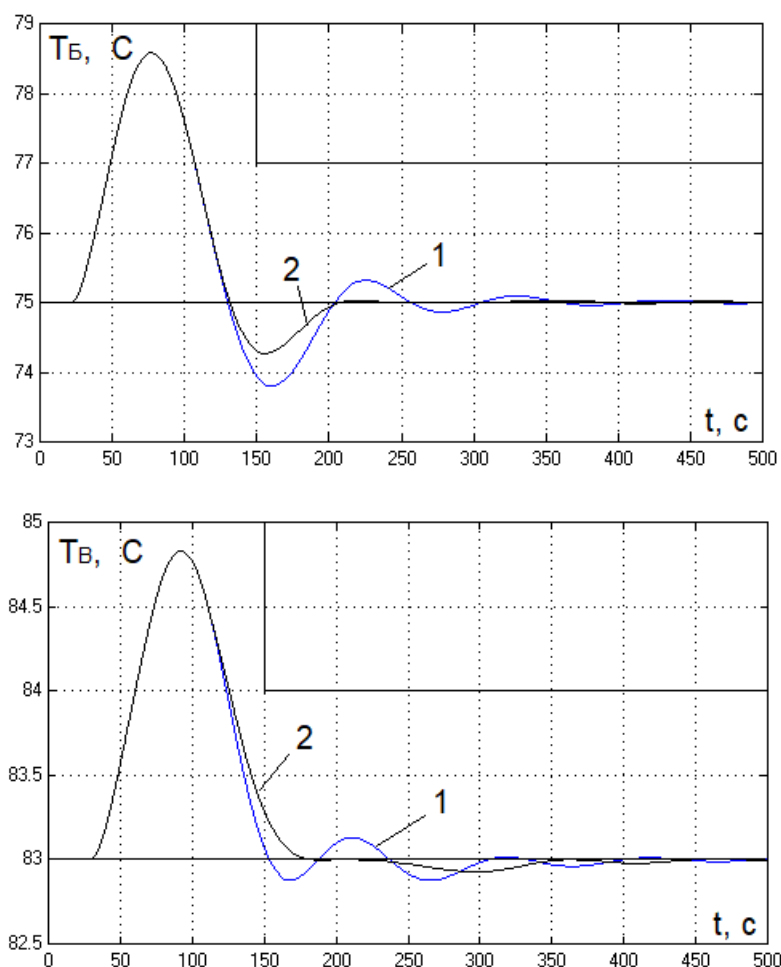


Рис. 3.28 – Результати порівняння якості роботи CAP базової структури (1) і CAP підвищеної динамічної точності (2)

Таблиця 3.2 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Варіант САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_B^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп1}}, \text{с}$	$\Delta T_B^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп2}}, \text{с}$	
Базової структури	3,58	106,8	1,83	123,6	422,4
Автономна	3,58	106,8	1,83	125,6	400,9

3.5 Висновки за розділом

САР з ПІ-регуляторами не відповідає гранично-припустимим вимогам, а з ПІД-регуляторами відповідає гранично припустимим вимогам.

Для ПІ-регуляторів коефіцієнт передачі K_{P1} збільшився на 155%, час ізодрому T_{I1} збільшився на 28%, коефіцієнт передачі K_{P2} зменшився на 13%, час ізодрому T_{I2} зменшився на 54,5%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_B^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 17,5%, час перехідного процесу за T_B зменшився на 32%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_B^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 3%, час перехідного процесу за T_B зменшився на 17%, інтегральний показник якості зменшився на 39,5%.

Для ПІД-регуляторів коефіцієнт передачі K_{P1} збільшився на 8%, час ізодрому T_{I1} зменшився на 50%, час упередження $T_{УП1}$ зменшився на 24%, коефіцієнт передачі K_{P2} збільшився на 73%, час ізодрому T_{I2} зменшився на 32%, час упередження $T_{УП2}$ збільшився на 18%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_B^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 0,8%, час перехідного процесу за T_B зменшився на 16%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_B^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 19%, час перехідного процесу за T_B зменшився на 29%, інтегральний показник якості зменшився на 47%.

Оскільки САР з налаштуваннями регуляторів за інженерними методиками дають перехідні процеси, що сходяться, то їх можна використовувати на практиці за умови не занадто жорстких гранично

припустимих вимог. Але такі САР потребують оптимального параметричного синтезу.

В результаті введення до регуляторів Д-складової в САР максимальне динамічне відхилення $\Delta T_B^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 2,5%; час перехідного процесу за T_B збільшився на 3% на 15%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_B^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 33,5%; час перехідного процесу за T_B зменшився на 26%, інтегральний показник якості зменшився на 41%.

САР з ПІ- та ПІД-регуляторами є грубими, тому що в умовах 20%-ї варіації параметрів ОК ці САР дають перехідні процеси, що сходяться.

Для САР з ПІ-регуляторами різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» для керування параметрами ОК за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_B^{\text{МАКС}}$ складає 17%; за часом перехідного процесу (T_B) 16%; за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_B^{\text{МАКС}}$ складає 9%; за часом перехідного процесу (T_B) 14%; за критерієм 28%.

Для САР з ПІД-регуляторами різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» для керування параметрами ОК за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_B^{\text{МАКС}}$ складає 18%; за часом перехідного процесу (T_B) 41%; за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_B^{\text{МАКС}}$ складає 27%; за часом перехідного процесу (T_B) 63%; за критерієм 61%.

Оскільки за усіма показниками різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» умовами керування для САР з ПІ-регуляторами є меншою, то САР з ПІ-регуляторами є «грубішою», а САР з ПІД-регуляторами – «чутливішою».

З усього вище сказаного можна зробити висновок, що за усіма показниками якості САР з ПІД-регулятором є кращою, ніж САР з ПІ-регулятором, але САР з ПІД-регуляторами менш грубою.

Отже, в подальших дослідженнях в якості базового алгоритму регулювання будемо застосовувати ПІД-регулятор.

У результаті підвищення динамічної точності шляхом побудови САР автономної структури прямі показники якості автономної САР у порівнянні з САР базової структури не змінилися, а інтегральний показник якості зменшився на 5%. При цьому автономна САР залишилася грубою.

САР підвищеної динамічної точності автономної структури дала невелике покращення інтегрального показника якості при збереженні грубості САР. І САР базової структури, і САР підвищеної динамічної точності автономної структури відповідають гранично припустимим умовам. Отже, САР підвищеної динамічної точності автономної структури використовувати недоцільно. А у подальших розробках будемо використовувати САР базової структури з ПД-регуляторами.

4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом

4.1 Розробка алгоритмів автоматичного управління нормальним пуском та зупинкою установки

Суть технологічного процесу сушіння солоду у зеленого свіжопророслого солоду відносно вологістю 44...48% до сухого стану відносною вологістю до 3% у паровій шахтній солодосушарці ЛСХА. Технологічна схема процесу сушіння солоду для вирішення задач логічного керування приведена на рисунку 4.1.

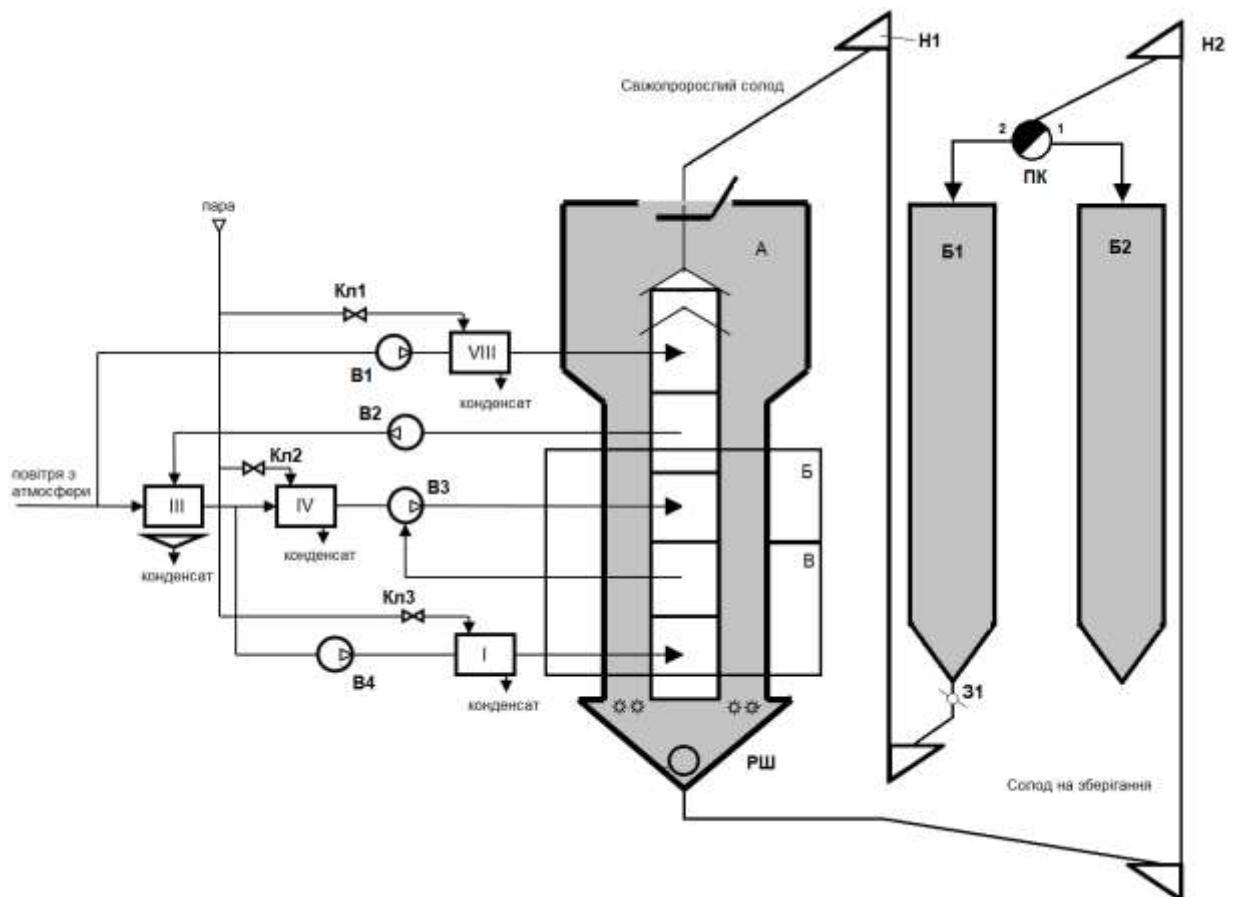


Рис. 4.1 – Технологічна схема процесу сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці для вирішення задачі логічного керування

Пуск установки установки в роботу здійснюється наступним чином. Після перевірки умов, необхідних для пуску, та передпускової звукової сигналізації

потрібно заповнити солодосушарку зеленим солодом, забезпечити рух солоду в сушарці в режимі рециркуляції. Надалі слід забезпечити циркуляцію повітря в сушарці, подати пару в калорифери, вивести сушарку на задані температурні режими в камері підвялювання, а також в зонах Б і В сушарки. Потім слід довести солод на виході з сушарки до вологості 3% і забезпечити випуск готового продукту з сушарки. Блок-схема регламенту на пуск установки приведено на рис. 4.2 .

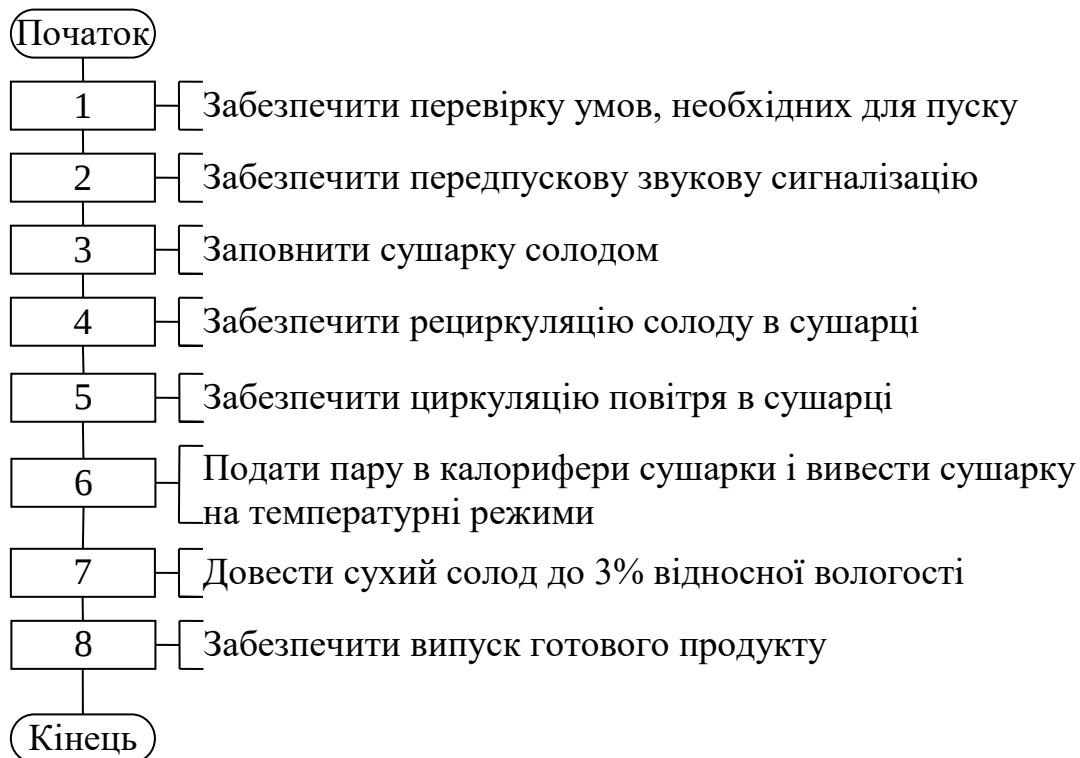


Рис. 4.2 – Блок-схема регламент на пуск процесу сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці

Нормальна зупинка установки розпочинається з того, що потрібно припинити подачу свіжого солоду до сушарки, припинити подачу пари до калорифера камери підв'ялювання, припинити циркуляцію повітря в камері підв'ялювання, виробити продукт із камери підв'ялювання, припинити подачу пари до калорифера зони Б, припинити циркуляцію повітря в зоні Б виробити продукт із зони Б, припинити подачу пари до калорифера зони В, припинити циркуляцію повітря в зоні В, випустити солод із сушарки. Якщо

певна кількість солоду виявилася недосушеною, направити її до бункера зеленого солоду. Блок схема регламенту на нормальну зупинку приведена на рис. 4.3.

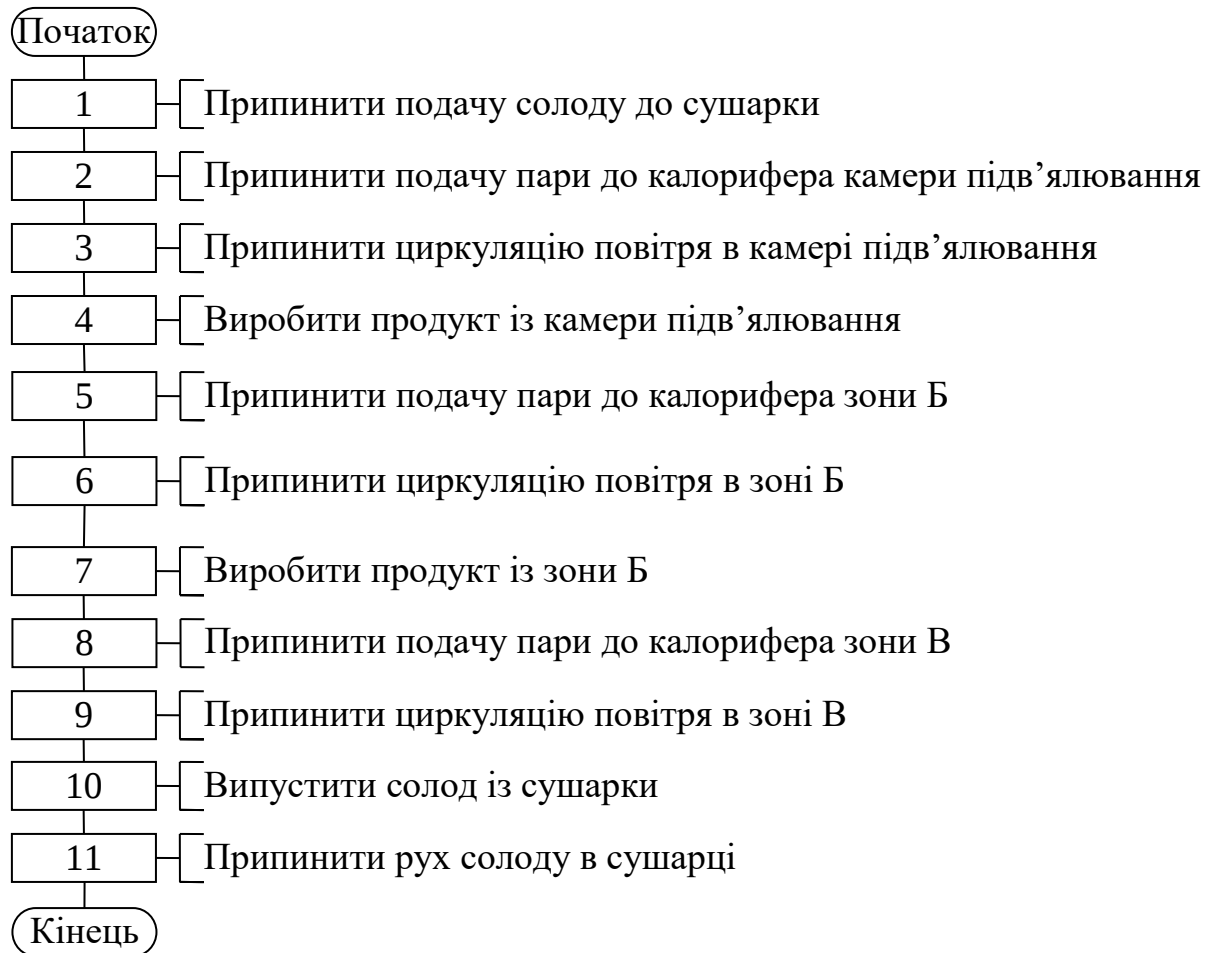


Рис. 4.3 – Блок-схема регламент на технологічну зупинку процесу сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці

4.2 Розробка алгоритму автоматичного керування технологічним циклом процесу сушіння солоду

Блок схема алгоритму автоматичного керування пуском установки наведена на рисунку 4.4.

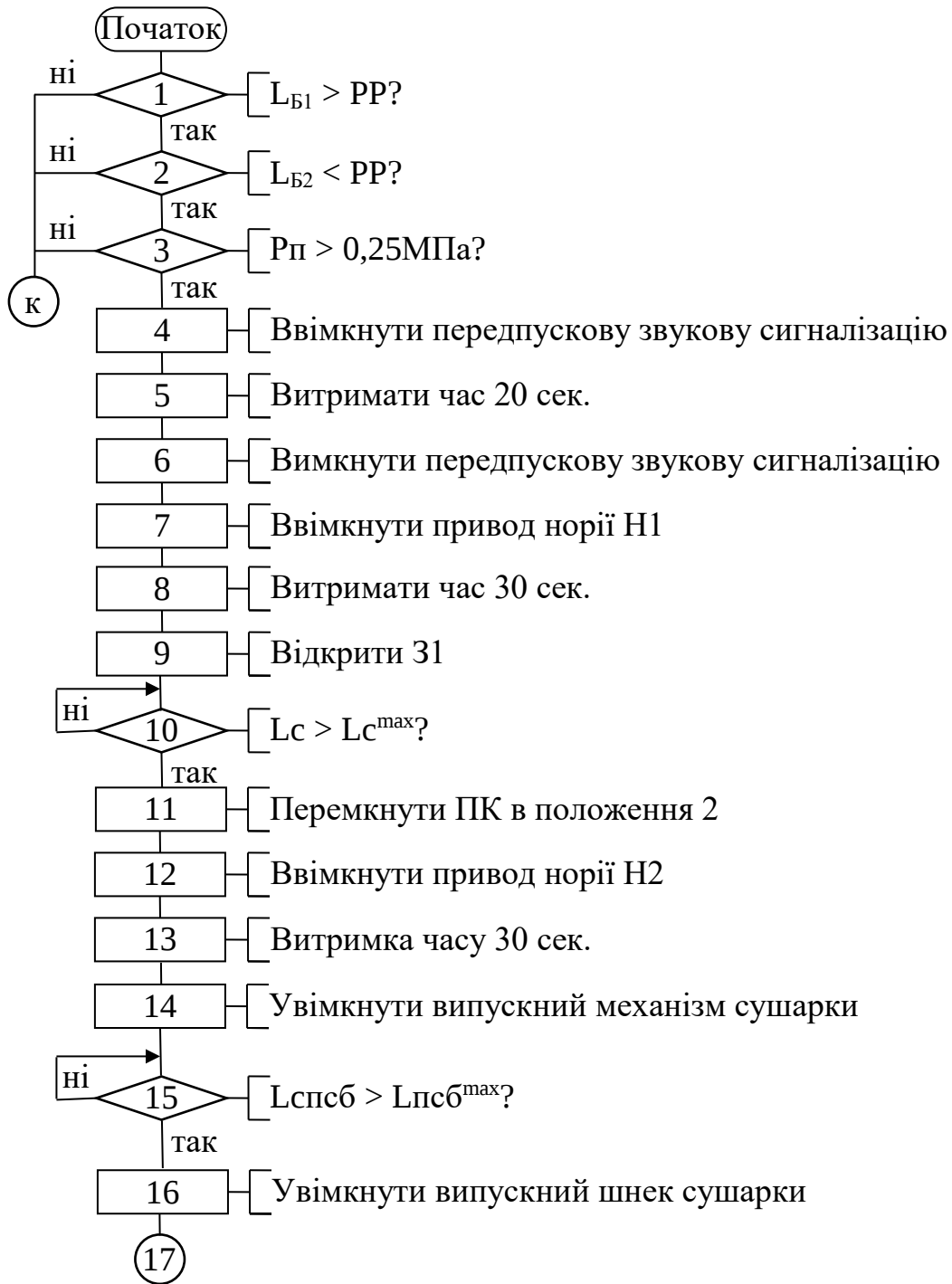


Рис. 4.4 – Блок-схема алгоритму логічного пуску процесом сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці

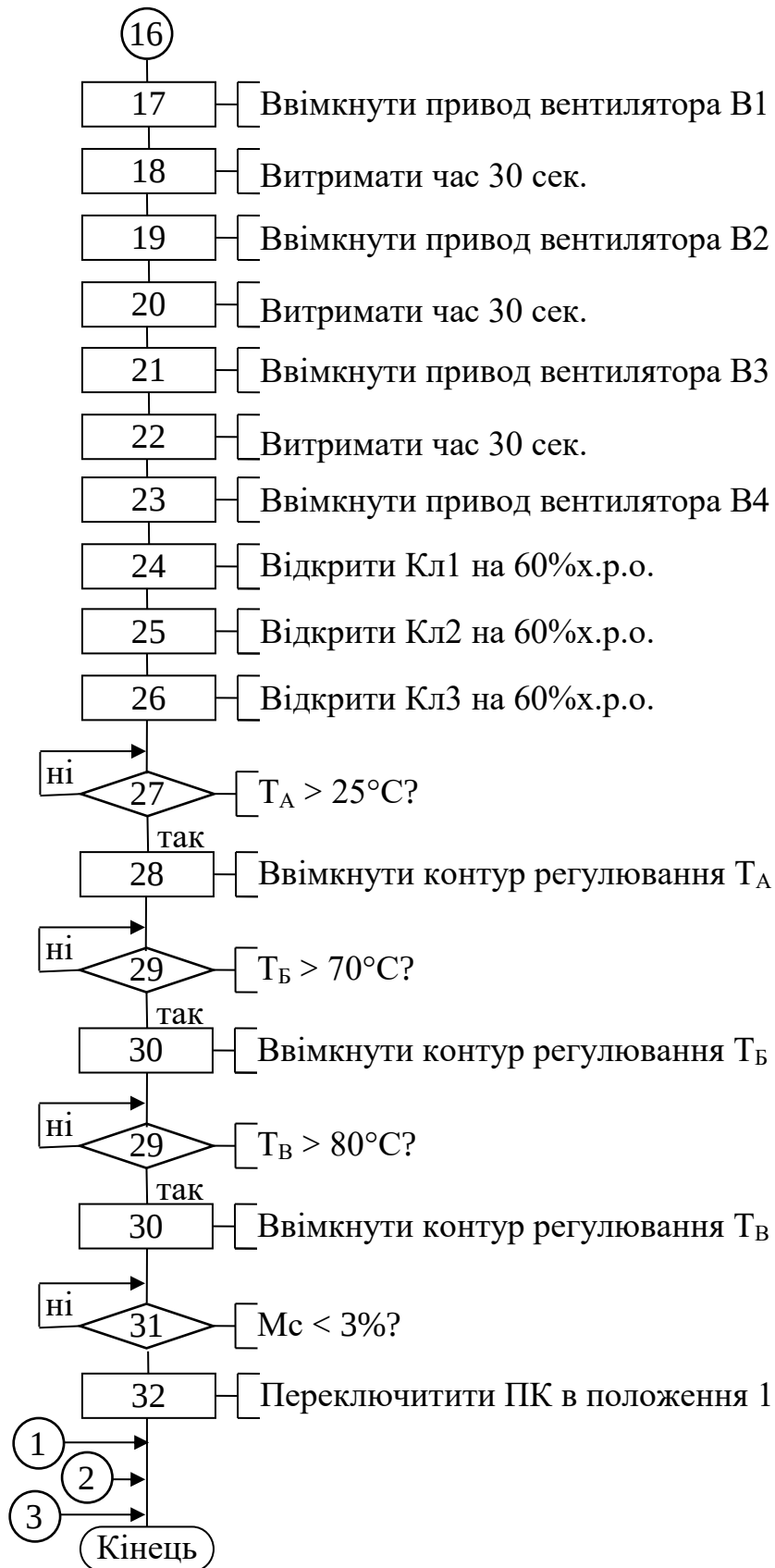


Рис. 4.4 (закінчення) – Блок-схема алгоритму логічного пуску процесом сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці

Автоматичний пуск установки здійснюються так. Перевірка умов необхідних для пуску зводиться до перевірки наявності робочого рівню зеленого солоду в бункері 1, наявності місця під готовий продукт в бункері 2 та тиску пари в паропроводі. Передпускова звукова сигналізація зволиться до вмикання звукового сигналізатора на 20 сек. Подача продукту в установку здійснюється увімкненням норії Н1 з витримкою часу 30 сек. і відкриттям засувки З1. Про заповнення сушарки солодом сигналізує досягнення рівнем солоду в надсушильному бункері верхнього значення. Рециркуляція солоду в сушарці забезпечується перемиканням перекидного клапана в положення 2, вмиканням приводу норії Н2 з витримкою часу 30 сек., вмиканням випускного механізму сушарки, і при досягненні рівнем солоду в підсушильному бункері сушарки вмиканням випускного шнеку. Для забезпечення циркуляції сушильного агенту з витримкою часу в 30 сек. По черзі вмикаються вентилятори сушарки В1 – В4. Для подачі пари в калорифери сушарки клапани подачі пари Кл1, Кл2 і Кл3 треба відкрити на 60%ч.р.о. При досягненні температурами в зонах сушарки нижніх меж регламентів вмикаються відповідні контури регулювання. Після виводу сушарки на задані температурні режими в режимі рециркуляції солод доволиться до вологості в 3%, після чого солод з сушарки починає поступати в бункер Б2 готового продукту. Для цього перекидний клапан ПК переводиться в положення 1.

Циркуляція води в системі забезпечується ввімкненням насосів М2 та М4, а нагрівання глазурі – ввімкненням тенів. Під виведенням установки на режим будемо розуміти включення контурів регулювання температур Т1 та Т2. Блок схема алгоритму автоматичного керування пуском установки наведена на рисунку 4.4.

Блок схема алгоритму керування нормальною (технологічною) зупинкою установки наведена на рисунку 4.5.

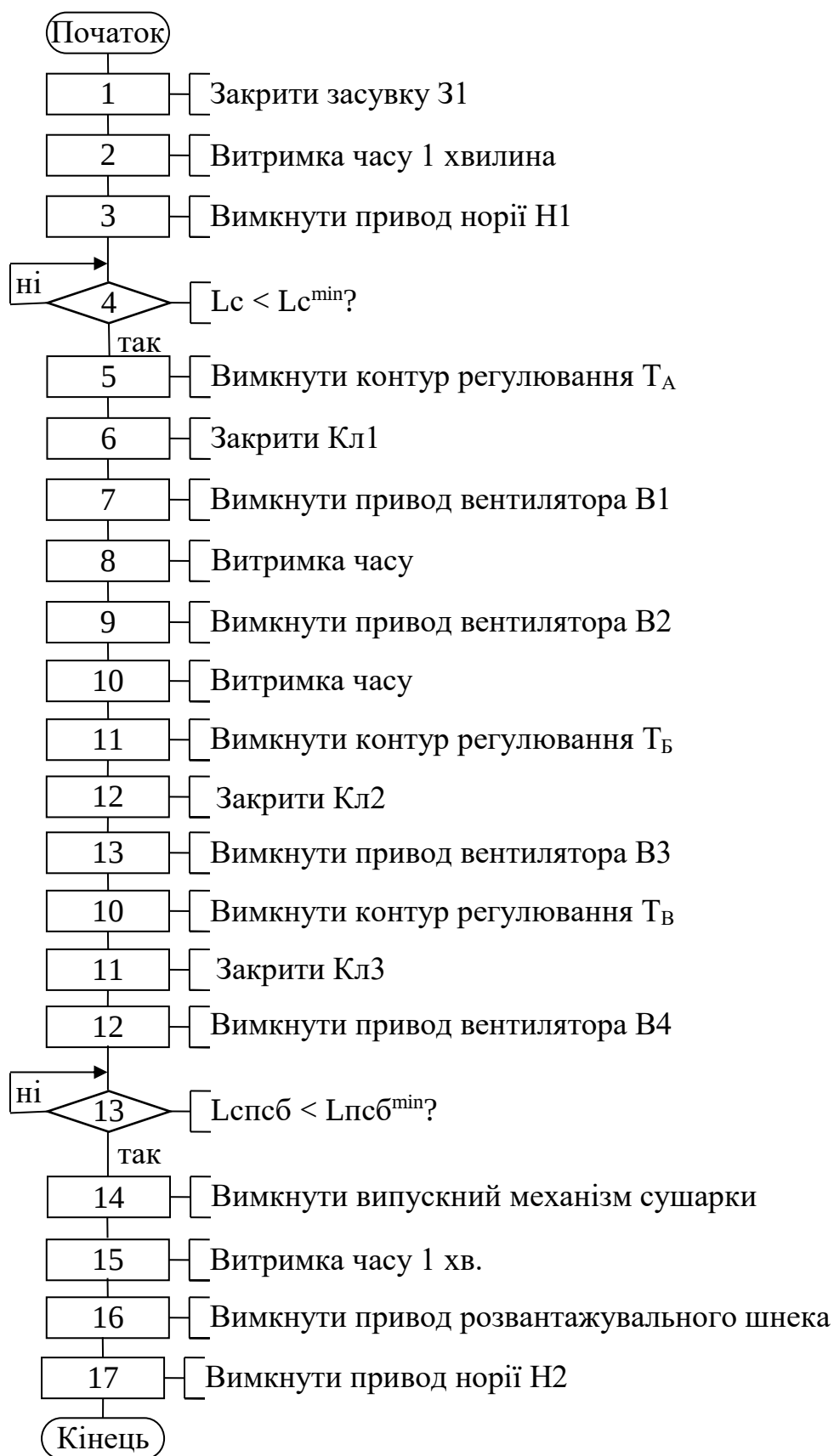


Рис. 4.5 – Блок-схема алгоритму автоматичного керування технологічною зупинкою парової шахтної солодосушарки

Зупинка сушарки розпочинається з припинення подачі солоду. Для цього закривається засувка З1, витримується час 1 хв. на вивільнення від солоду норії Н1 і зупиняється привод норії Н1. Після зниження рівню в надсушильному бункері нижче мінімального значення припиняється подача пари до калорифера камери підв'ялювання. Для цього вимикається контур регулювання температури в камері підв'ялювання і закривається клапан Кл1. Для припинення циркуляції повітря в камері підв'ялювання вимикається привод вентилятора В1 і з витримкою часу – вентилятора В2. Надалі витримується час для остаточного випорожнення камери підв'ялювання від солоду. Надалі припиняється подача пари до калорифера зони Б сушарки. Для цього вимикається контур регулювання T_B і закривається Кл2. Для припинення циркуляції повітря в зоні Б сушарки вимикається привод вентилятора В3. Надалі витримується час для остаточного випорожнення зони Б сушарки від солоду. Припиняється подача пари до калорифера зони В сушарки. Для цього вимикається контур регулювання T_B і закривається Кл3. Для припинення циркуляції повітря в зоні В сушарки вимикається привод вентилятора В4. Остаточне випорожнення сушарки контролюється зниженням рівню в підсушильному бункері нижче мінімального значення. Після цього вимикається випускний механізм сушарки, витримується час на остаточне випорожнення сушарки, вимикаються приводи випускного шнека, а потім норії Н2.

4.3 Висновки за розділом

В ході розробки алгоритмів логічного керування сушінням солоду в паровій шахтній солодосушарці було складено регламенти функціонування та алгоритми автоматичного керування пуском та технологічною зупинкою сушарки.

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

Технічні засоби знаходяться в виробничих приміщеннях, тому при їх виборі слід зважати на характеристики середовищ, з якими вони контактують. Технологічне обладнання та технічні засоби автоматизації сушарки солоду знаходяться опалювальному приміщенні цеху. Цю ділянку можна віднести до пожежо- та вибухонебезпечної, оскільки при її роботі у повітрі та на обладнанні виділяється органічний пил, що може викликати вибух або пожежу.

Датчики, регулюючі органи та виконавчі механізми системи керування розміщуються безпосередньо на обладнанні і матеріалопроводах, по яким подається солод та гріюча пара. Інше технічне обладнання системи керування та АРМ оператора-технолога доцільно розмістити в окремому приміщенні з температурою 18 - 25 °С та вологістю 60 - 80%.

Визначимо класифікацію приміщення, де розміщується обладнання для пневмотранспортування муки. У відповідності з «Правилами улаштування електроустановок» це приміщення можна віднести до категорії «нормальне приміщення, в якому відносна вологість повітря не більше ніж 60 %.

Щодо небезпеки 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.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де розміщене обладнання для пневмотранспортування муки, слід віднести до приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом, оскільки наявні пункти 2 і 4.

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

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

Вибухонебезпечна зона класу 22 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де розміщене обладнання сушарки солоду, слід віднести до вибухонебезпечної зони класу 22.

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

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

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

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

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

Для приміщення, де розміщене обладнання сушарки солода, слід вибирати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Підвищеної надійності проти вибуху».

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

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

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

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

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

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

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

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

Для приміщення, де розміщене обладнання сушарки солода, слід вибирати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP54.

Оскільки датчики рівня солоду та тиску пари монтуються безпосередньо на корпусі силосів (бункерів) та паропроводів, то їх виконання повинно передбачати ступінь захисту не менше IP54, ступінь вибухозахисту - підвищеної надійності проти вибуху.

Датчики CAP контактують з наступними речовинами:

- пара з тиском до 3 бар;
- солод з температурою до 85 °С і вологістю до 45%.

Регулюючі клапани контактують з наступними речовинами:

- пара з тиском до 3 бар.

Виконавчі механізми, які встановлені на клапанах, контактують з наступними речовинами:

- з матеріалами клапанів та навколишнім повітрям цеху з температурою 20...30 °С.

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

Для вимірювання температури солоду застосовані термометри опору JUMO Etemp В (тип 90.2123) з вбудованим перетворювачем.



Технічні характеристики • Вимірювальний параметр: Температура (Pt100, Pt500, Pt1000), клас В/А/АА. • Діапазон: -50...+400 °С (залежно від моделі). • Захисна трубка: Нержавіюча сталь 1.4571, діаметр 6 або 8 мм. • Час відгуку: $t_{0.5} = 5$ с, $t_{0.9} = 14$ с • Приєднувальна головка: Форма В або BUZ, захист IP65, температура -40...+100 °С. • Перетворювач: Аналоговий (4...20 мА, 0...10 В) або програмований (4...20 мА). • Монтажна довжина: 50...1000 мм (крок 50 мм).

а)

б)

Рис. 5.1 – Датчик температури 902123/10-415-1003-2-6-500/000:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

Для вимірювання тиску гріючої пари застосований датчик-реле Danfoss ВСРЗН



а)

Media		Steam, water, air
Ambient temperature		-20 – 70 °C
Media temperature		Up to 120 °C (Above 120 °C a water-filled loop must be installed).
Enclosure		IP65
Action type acc. to EN 60730		Type BCP - 3B Type BCP/BCPH - 2BDF
Electrical connection Plug		DIN 43650, Pg 11
Switch type		SPDT, snap action microswitch
Contact material		Silver/gold (gold plated silver)
Contact load	Minimum	1mA, 5V
	Maximum*)	1/ AC-1: 6A, 250V
		1/ AC-15: 1A, 250 V
		1/ DC 13 10W, 250 V
Expected electrical lifetime		Min. 250 000 cycles under full contact load.

б)

Рис. 5.2 – Датчик тиску ВСРЗН а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

Для виміру рівня солоду в сушарці застосований вібраційний датчик-реле рівню OPTISWITCH 3100 С.



а)

Технічні характеристики:

Preferred application:	Solids
Length:	-
Process fitting:	Thread G1½A, flanges
Process temperature:	-50 ... +150 °C (-58 ... +302 °F) -50 ... +250 °C (-58 ... +482 °F) with temperature adapter
Process pressure:	-1 ... 16 bar/-100 ... 1600 kPa (-14.5 ... 232 psi)
Signal output:	Relay, transistor, two-wire output, contactless electronic switch

б)

Рис. 5.3 – Датчик-реле рівня OPTISWITCH 3100 С: а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.3 Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

Для зміни витрат гріючої пари застосований регулюючий клапан Ari-Stevi 440 Ari-Premio Plus 2G з вбудованим позиціонером для управління клапаном за допомогою аналогового сигналу від контролера (керуючий сигнал 0-10 або 0 / 4-20 мА).



Технічні характеристики клапана:

Модель клапана	Ari-Stevi 440	Ari-Stevi 441
Номинальні діаметри	DN 15 ... 250	
Номинальний тиск, бар	PN 16, 25, 40	
Діапазон значень Kv	2,5 ... 1000	
Ущільнення штока і робоча температура клапана	Шерошне кільце з PTFE: -10 ... +220 °C Сальник із PTFE: -10 ... +250 °C Кільце EPDM: -10 ... +150 °C Чистий графіт: -60 ... 450 °C	
	Сильфонні: -60 ... 450 °C	

виконавчого механізму;

- Клас захисту IP65.
- Захист двигуна від перегріву.
- Кінцеві вимикачі і вимикачі по зусиллю.
- Ручне аварійне керування.
- Кількість допустимих включень в годину: 1200.
- Трипозиційне управління (привід Ari-Premio) і аналогове 4...20 мА, 0 ... 10 В (для Ari-Premio Plus 2G)

Рис. 5.4 – Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики регулюючого клапана Ari-Stevi 440 і виконавчого механізму Ari-Premio Plus 2G

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

Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи.

Для визначення кількості і типів сигналів, які обробляються в контролері, базуючись на аналізі системи автоматизації за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів.

Табл. 5.5 – Список параметрів на входах та виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Температура солоду в зоні Б	A	I	4...20 mA DC
2	Температура солоду в зоні В	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 авт.вимикача M4	D	I	24 V DC
13	Сигнал стану контактора M4	D	I	24 V DC
14	Сигнал перемикача режиму M4	D	I	24 V DC
15	Сигнал стану авт.вимикача M5	D	I	24 V DC
16	Сигнал стану контактора M5	D	I	24 V DC
17	Сигнал перемикача режиму M5	D	I	24 V DC
18	Сигнал стану авт.вимикача M6	D	I	24 V DC
19	Сигнал стану контактора M6	D	I	24 V DC
20	Сигнал перемикача режиму M6	D	I	24 V DC
21	Сигнал стану авт.вимикача M7	D	I	24 V DC
22	Сигнал стану контактора M7	D	I	24 V DC
23	Сигнал перемикача режиму M7	D	I	24 V DC
24	Сигнал верх. рівня солоду в сушарці	D	I	24 V DC
25	Сигнал тиску гіючої пари	D	I	24 V DC
26	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
27	Сигнал керування M2	D	O	24 V DC
28	Сигнал керування M3	D	O	24 V DC

Табл. 5.5 (закінчення) – Список параметрів на входах та виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
29	Сигнал керування М4	D	O	24 V DC
30	Сигнал керування М5	D	O	24 V DC
31	Сигнал керування М6	D	O	24 V DC
32	Сигнал керування М7	D	O	24 V DC
33	Сигнал керування відсічним клапаном пари	D	O	24 V DC
34	Сигнал керування клапаном пари	D	O	24 V DC
35	Сигнал керування регулюючим клапаном гріючої пари в зоні Б	A	O	4...20 mA DC
36	Сигнал керування регулюючим клапаном гріючої пари в зоні В	A	O	4...20 mA DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 2, AO – 2, DI – 23, DO – 9

Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

Виберемо централізовану схему розміщення модулів системи керування, оскільки технологічне обладнання та допоміжне устаткування розташовуються в одному приміщенні компактно.

Систему керування будемо розробляти на базі контролера S7-1500 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.

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. 5.5).

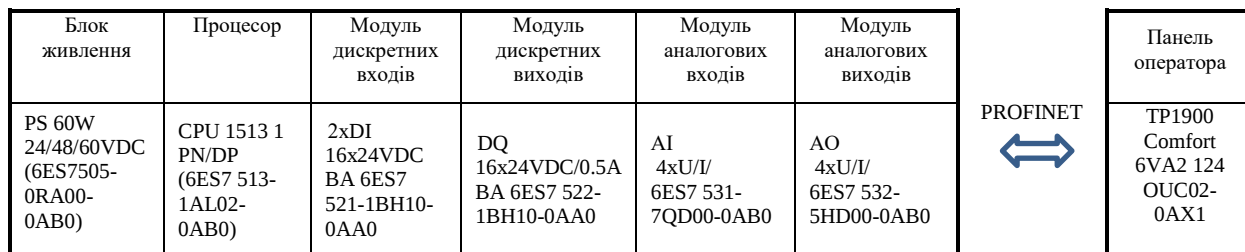


Рис. 5.5 Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

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

Article number	6ES7513-1AL02-0AB0
General information	
Product type designation	CPU 1513-1 PN
HW functional status	FS01
Firmware version	V2.5
Engineering with	
• STEP 7 TIA Portal configurable/integrated as of version	V15
Configuration control	
via dataset	Yes
Display	
Screen diagonal (cm)	3.45 cm
Control elements	
Number of keys	8
Mode buttons	2
Supply voltage	
Type of supply voltage	24 V DC
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Mains buffering	
• Mains/voltage failure stored energy time	5 ms
• Repeat rate, min.	1/s
Input current	
Current consumption (rated value)	0.7 A
Current consumption, max.	0.95 A
Inrush current, max.	1.9 A; Rated value
PI	0.02 A ² s
Power	
Infed power to the backplane bus	10 W
Power consumption from the backplane bus (balanced)	5.5 W
Power loss	
Power loss, typ.	5.7 W
Memory	
Number of slots for SIMATIC memory card	1
SIMATIC memory card required	Yes

Work memory	
• integrated (for program)	300 kbyte
• integrated (for data)	1.5 Mbyte
Load memory	
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	12 Gbyte
Backup	
• maintenance-free	Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	40 ns
for word operations, typ.	48 ns
for fixed point arithmetic, typ.	64 ns
for floating point arithmetic, typ.	256 ns
CPU blocks	
Number of elements (total)	2,000; Blocks (OB, FB, FC, DB) and UD/Ts
OB	
• Number range	1 ... 60 599; subdivided into: number range that can be used by the user: 1 ... 59 899, and number range of OBs created via SFC 88: 60 000 ... 60 599
• Size, max.	1.5 Mbyte; For non-optimized block accesses, the max. size of the OB is 64 KB
FB	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte
FC	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte
DB	
• Size, max.	300 kbyte
• Number of free cycle OBs	100
• Number of time alarm OBs	20
• Number of delay alarm OBs	20
• Number of cyclic interrupt OBs	20; With minimum OB life cycle of 500 µs
• Number of process alarm OBs	60
• Number of DPV1 alarm OBs	3
• Number of isochronous mode OBs	1
• Number of technology synchronous alarm OBs	2
• Number of startup OBs	100

Рис. 5.6 – Технічні дані CPU 1513 1 PN

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

Digital inputs	
Number of inputs	16
Configurable digital inputs	No
Sinking/sourcing input	Sinking input
Input characteristic curve acc. to IEC 61131, type 3	Yes
Input voltage	
Type of input voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
for signal "0"	-30 to +5 V
for signal "1"	+11 to +30 V

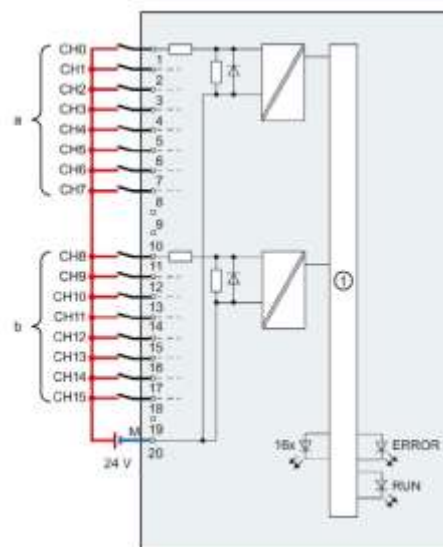


Рис. 5.7 – Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

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

Digital outputs	
Type of digital output	Transistor
Number of digital outputs	16
Current-sourcing	Yes
Short-circuit protection	Yes; Clocked electronically
• Response threshold, typ.	1 A
Limitation of inductive shutdown voltage to	L+ (-53 V)
Controlling a digital input	Yes
Switching capacity of the outputs	
• with resistive load, max.	0.5 A
• on lamp load, max.	5 W

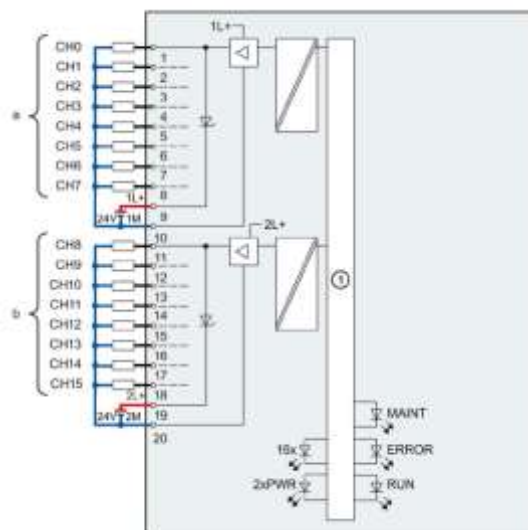


Рис. 5.8 – Технічні характеристики та схема підключень

DQ 16x24VDC/0.5A BA

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

Analog inputs	
Number of analog inputs	4
Number of analog inputs with current measurement	4
Number of analog inputs for voltage measurement	4
Number of analog inputs for resistance/resistance thermometer measurement	2
Number of analog inputs with thermocouple measurement	4
Permissible input voltage for voltage input (destruction limit), max.	28.8 V
Permissible input current for current input (destruction limit), max.	40 mA
Technical unit for temperature measurement adjustable	Yes

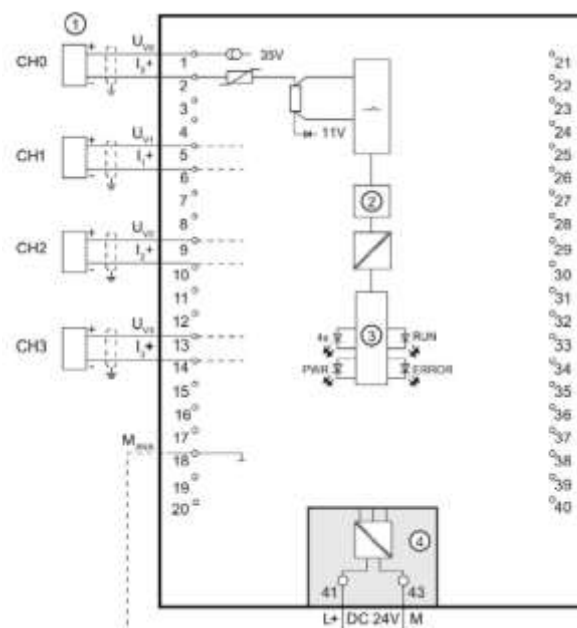


Рис. 5.9 – Технічні характеристики та схема підключень датчиків сили струму до входів 6ES7 531-7QD00-0AB0

Для виводу аналогових сигналів обраний модуль АО 4хU/I/6ES7 532-5HD00-0AB0

Analog outputs	
Number of analog outputs	4
Voltage output, short-circuit protection	Yes
Voltage output, short-circuit current, max.	24 mA
Current output, no-load voltage, max.	22 V
Cycle time (all channels), min.	3.2 ms; independent of number of active channels

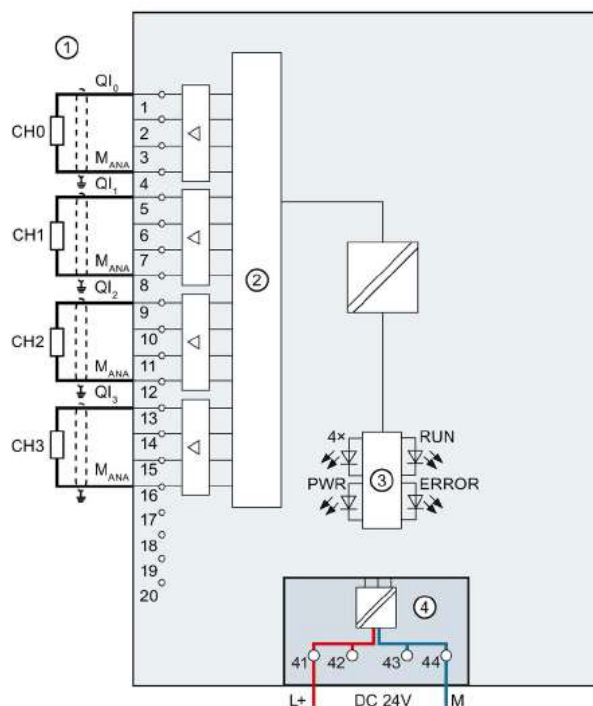


Рис. 5.10 – Технічні характеристики та схема формування уніфікованого струму на виходах 6ES7 532-5HD00-0AB0

5.5 Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які забезпечують керування процесом сушіння солоду в сушарці. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Система керування побудована за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість її подальшого розвитку.

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

6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж

Для програмної реалізації САК процесом сушіння солоду у шахтній сушарці створюємо у середовищі TIA Portal проект і додаємо до його складу контролер CPU 1516-3 PN / DP та панель оператора TP1900 Comfort, які за своїми технічними характеристиками відповідають поставленій задачі автоматизації.

Конфігурування обраного контролера та панелі оператора проводимо шляхом налаштування мережевих зв'язків між ними, для чого вказуємо IP адреси. В якості типу з'єднання обираємо HMI connection.



Рис. 6.1 – Визначення складу технічних засобів проекту та налаштування мережевих зв'язків

На вкладці Properties контролера (CPU) встановлюємо можливість користуватися байтами системної пам'яті та байтами часової пам'яті (рис. 6.2).

Далі обираємо з каталогу необхідні модулі вводу/виводу, 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)

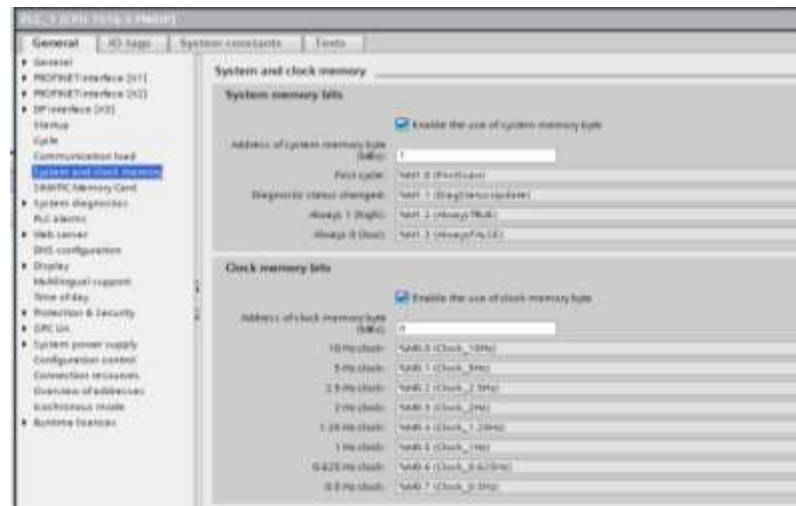


Рис. 6.2 – Конфігурування системних областей пам'яті CPU

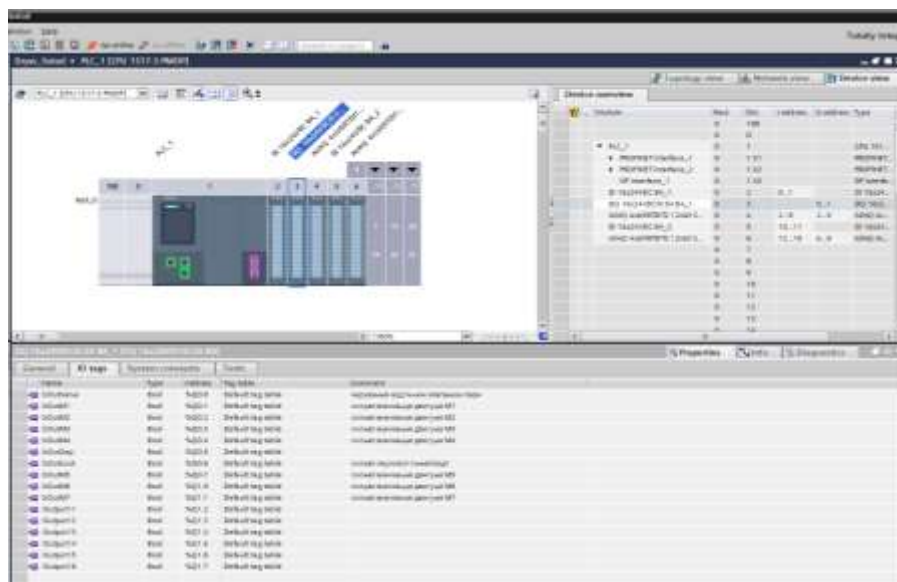


Рис. 6.3 – Приклад визначення модулів ПЗО

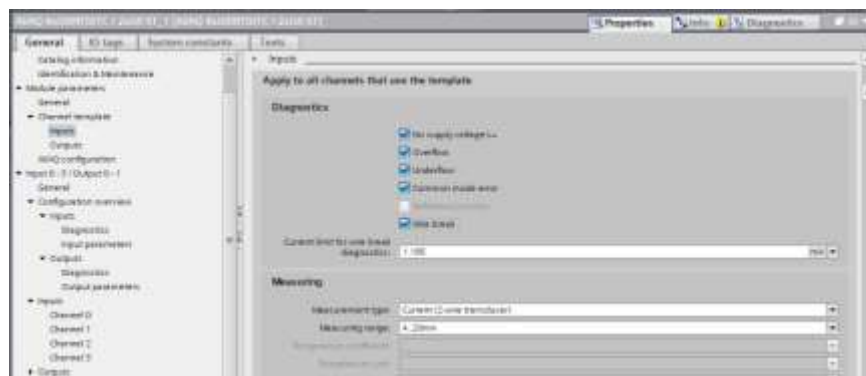


Рис. 6.4 – Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни для аналогового модуля

Відповідно до табл. 5.1 проводимо остаточне редагування імен вхідів/виходів в таблиці тегів програми.

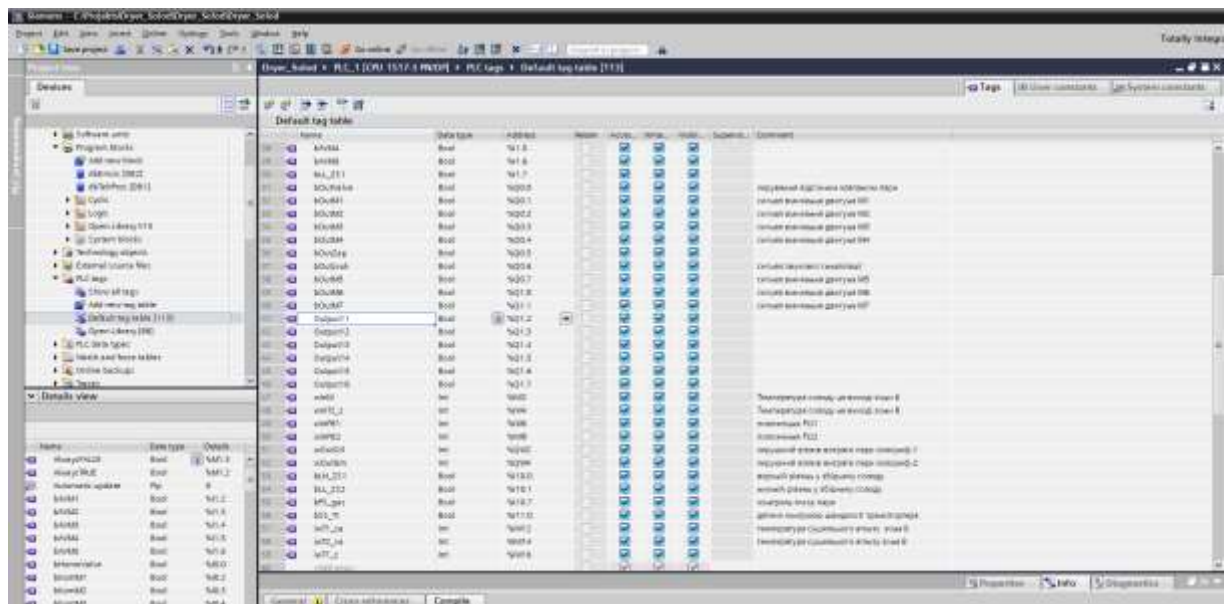


Рис. 6.5 – Приклад вікна таблиці тегів САК процесу сушіння солоду в шахтній сушарці.

6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

В дереві каталогу проекту системи керування процесом сушіння солоду створюємо дві папки: Сусліс, де будемо розмішувати функціональні блоки та блоки даних системи регулювання температур солоду, та Logic, де будемо розмішувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування обладнанням сушарки.

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.

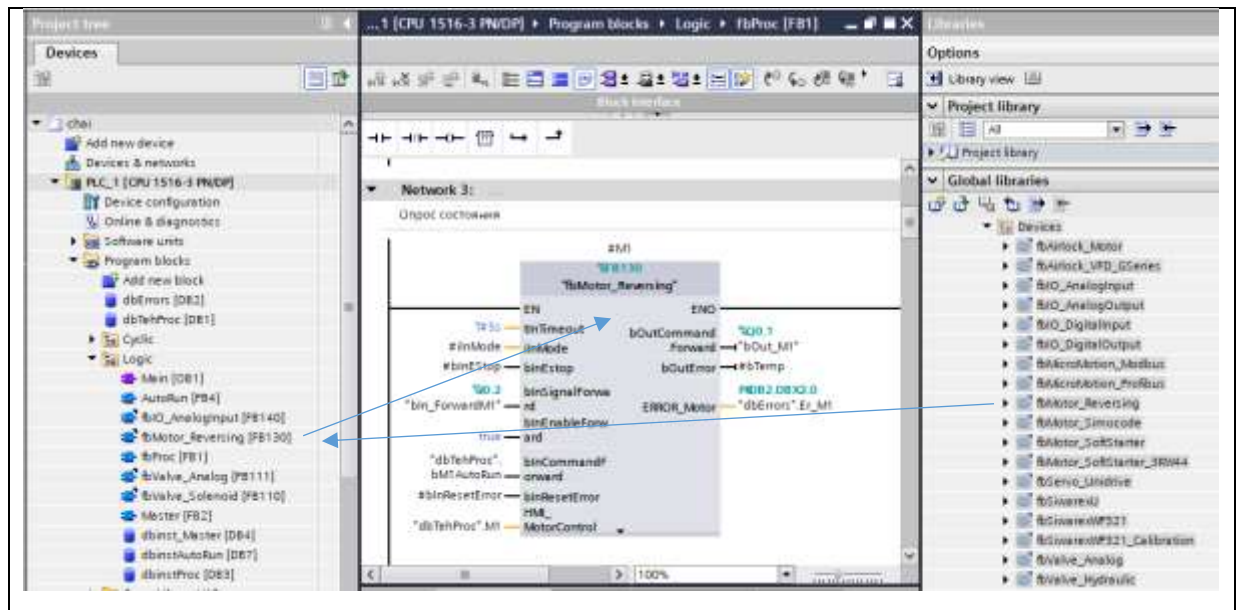


Рис. 6.6 – Приклад додавання функціонального блоку FB Motor

Основні функціональні можливості цих блоків:

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

Використовуючи бібліотечні типи даних, які розміщені в дереві каталогу проекту PLC data types, створюємо два глобальних блоки даних dbTehProc, dbErrors.

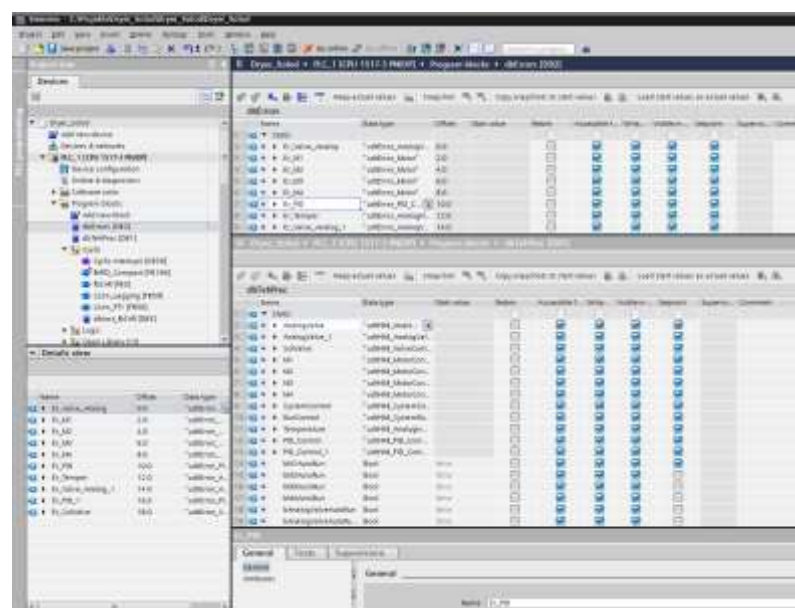


Рис. 6.7 – Створення глобальних блоків даних dbTehProc, dbErrors при реалізації САК процесом сушіння солоду у сушарці.

Створення підпрограм логічного керування шахтною сушаркою.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів вентиляторів M1 – M4, живильників M5 та M6 та транспортеру M7, аналогових та відсічного клапанів пари. Створюємо інтерфейс цього функціонального блоку, в якому в розділах Input, Output, Static, Temp вказуємо імена змінних та їх типи.

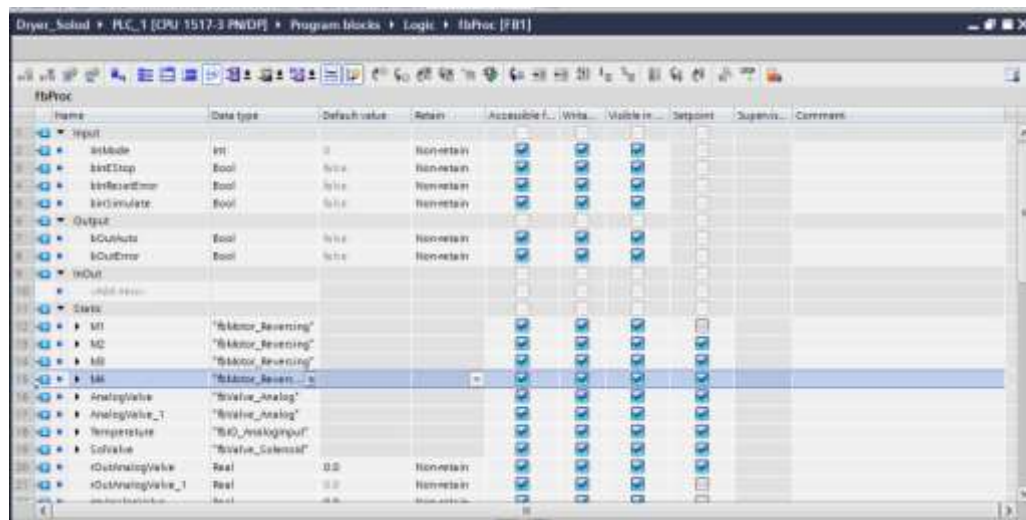


Рис. 6.8 – Фрагмент інтерфейсу функціонального блоку fbProc

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

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

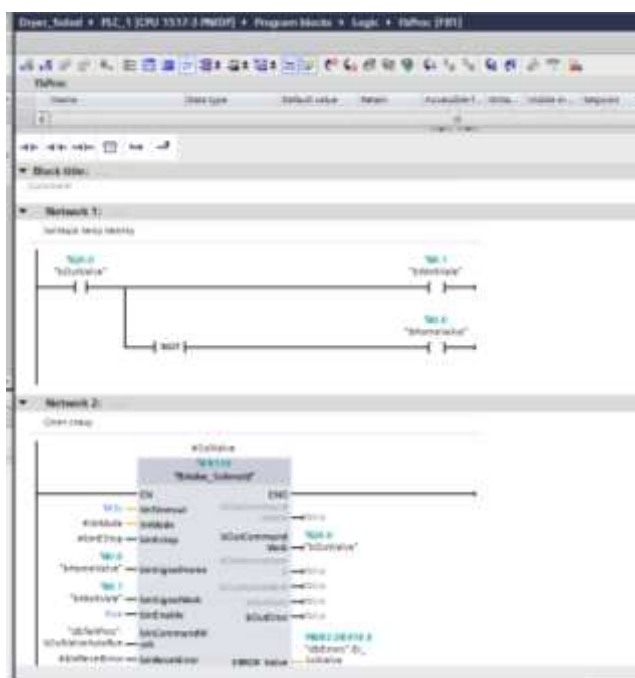


Рис. 6.9 – Фрагмент підпрограми fbProc

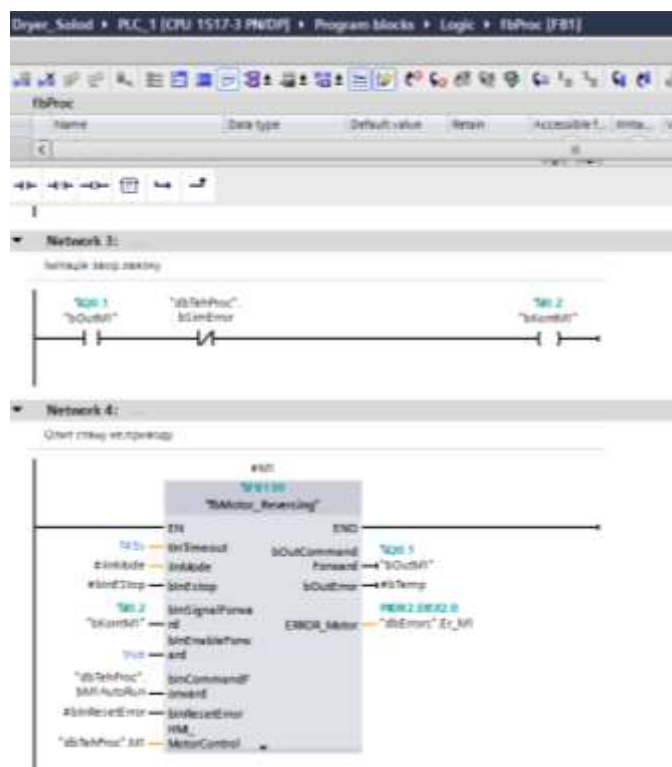


Рис. 6.10 – Фрагмент підпрограми fbProc

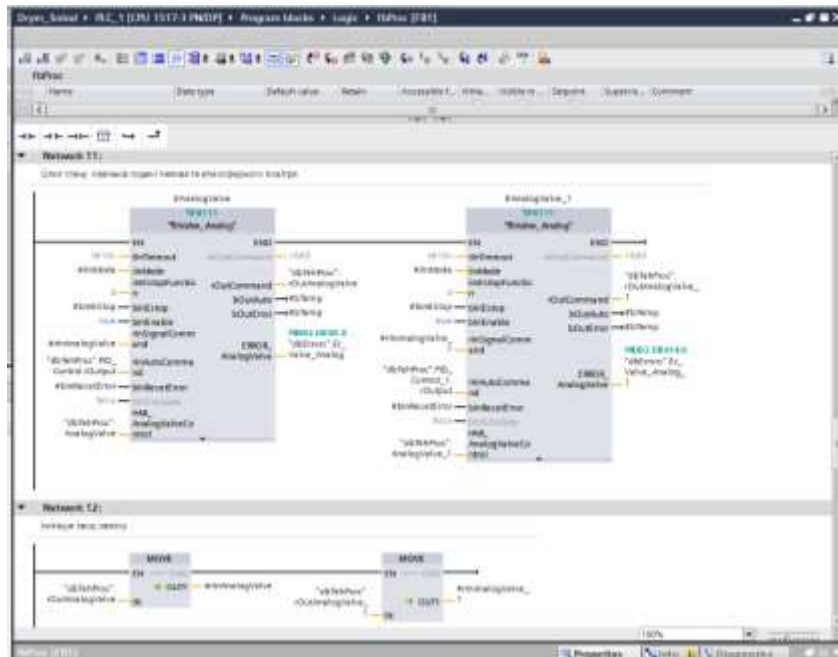


Рис. 6.11 – Фрагмент підпрограми fbProс

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання.

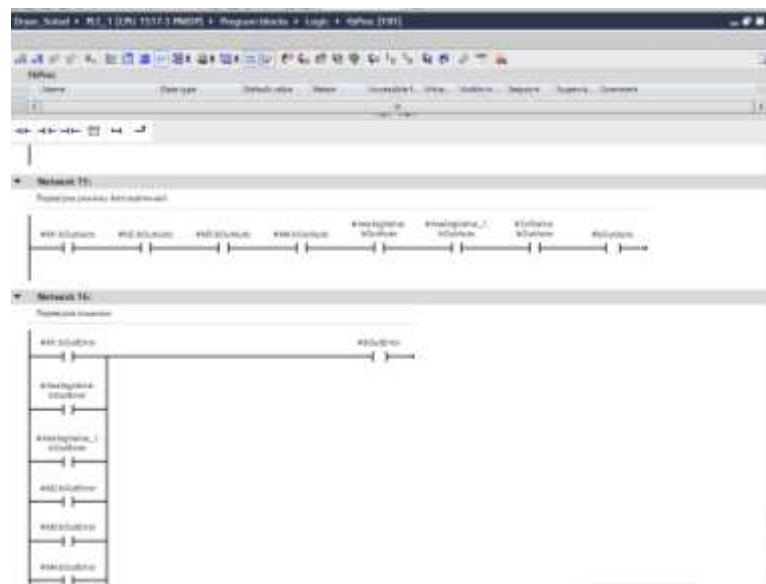


Рис. 6.12 – Фрагмент підпрограми fbProс

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

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

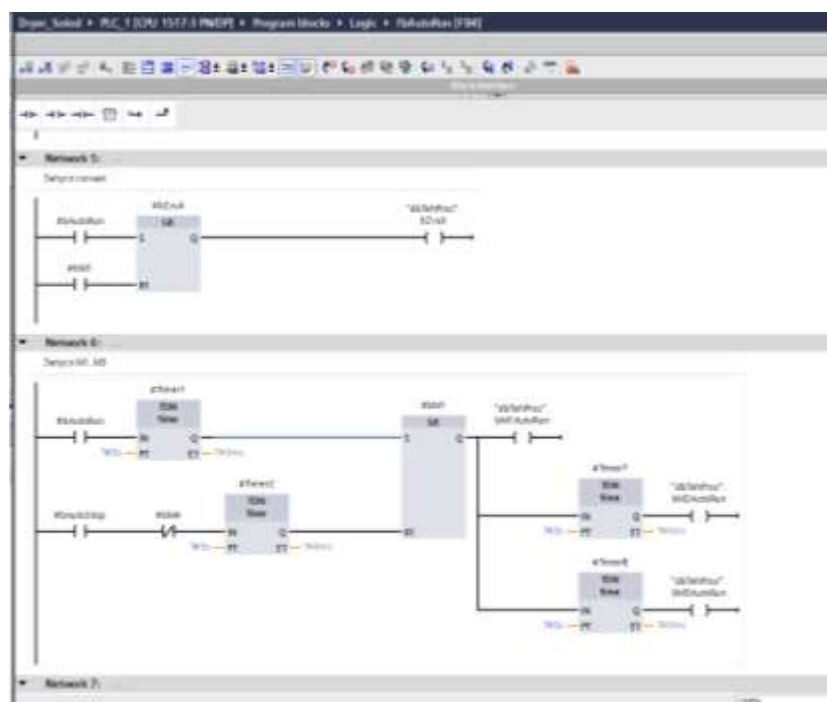


Рис. 6.15 – Фрагмент підпрограми fbAutoRun

Завершують підпрограму строки із визначенням режиму роботи «ручний-автоматичний» ПД-регулятора (рис. 6.16).

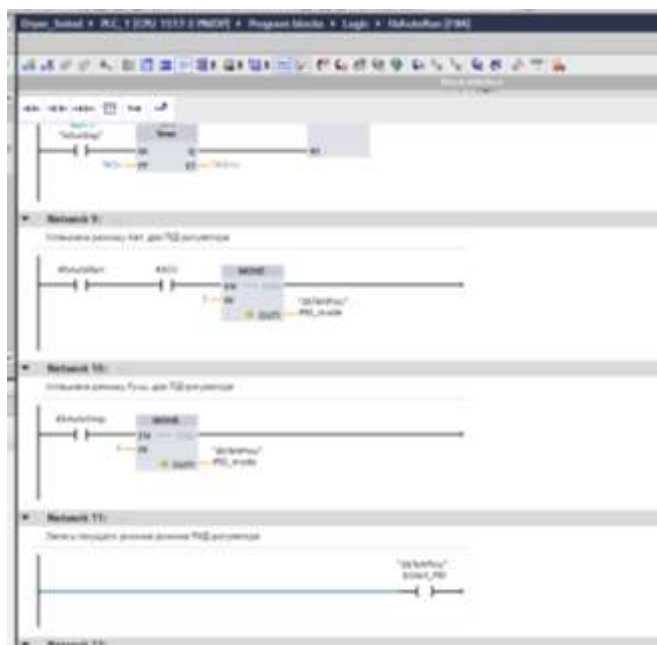


Рис. 6.16 – Фрагмент підпрограми fbAutoRun

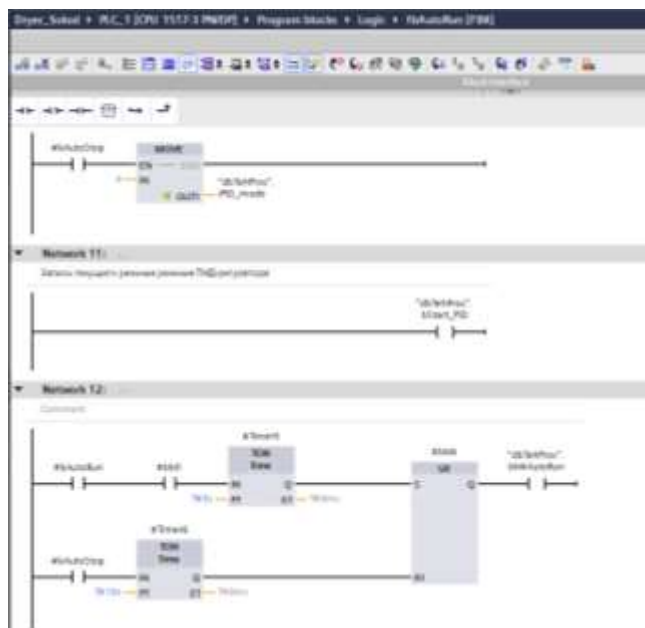


Рис. 6.17 – Фрагмент підпрограми fbAutoRun

Виклик на виконання підпрограм fbProc та fbAutoRun здійснюється в підпрограмі Master (рис. 6.18), яка в свою чергу викликається на виконання в головній програмі Main (OB1).

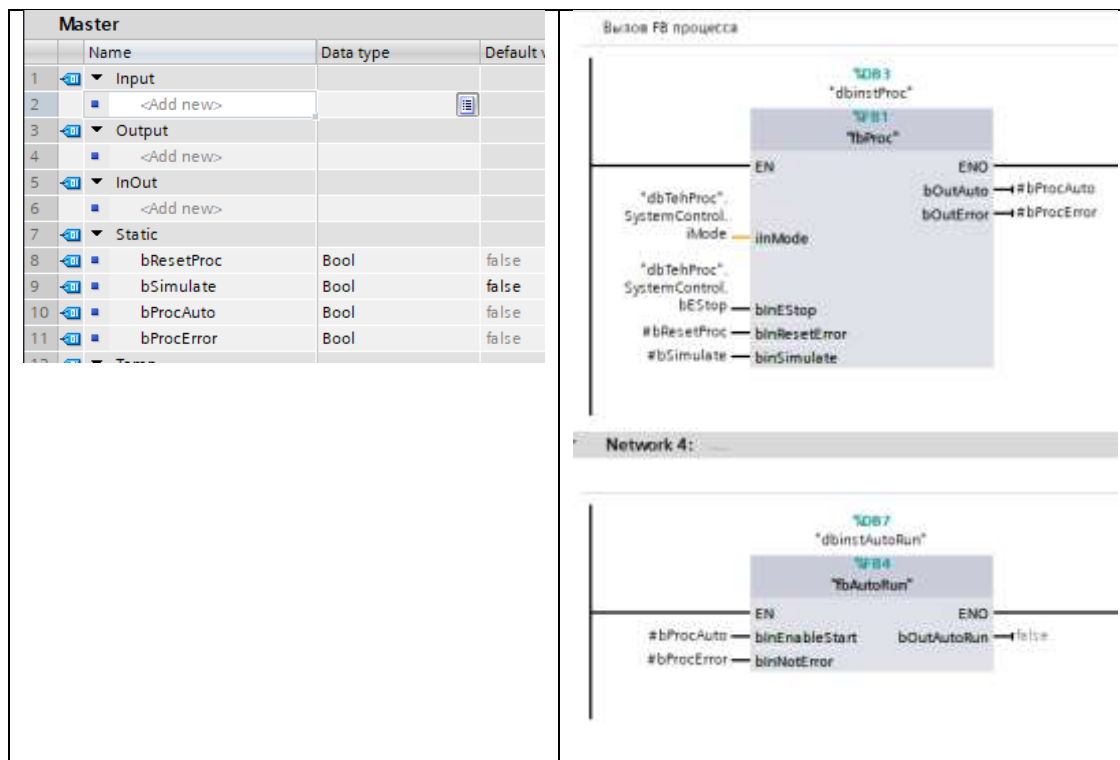


Рис. 6.18 – Інтерфейс та текст підпрограми Master

Циклічне виконання цих підпрограм забезпечує опит стану обладнання сушарки, його автоматичний пуск і зупинку.

6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

Алгоритми регулювання температури солода були розроблені і протестовані в розділах 1..3, де були визначені параметри моделі об'єкту керування і параметри ПІД-регуляторів.

В середовищі TIA Portal модель САР температури солоду реалізована у функціональному блоці FB SAR, розрахунок якого виконується кожно 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 температури солоду запрограмована з використанням функціональних блоків типового регулятора fbPID_Compact та типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSim_Lagging і FB LSim_PT1), що формують модель ОК. Інтерфейс підпрограми САР представлений на рис. 6.19, в якому вказані змінні підпрограми та їх типи.

Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Visible in ...	Visible in ...	Supervis...	Com
Input								
Output								
InOut								
Static								
PID_reg	"fbPID_Compact"							
PID_reg_1	"fbPID_Compact"							
Lag_1	"LSim_Lagging"							
Lag_2	"LSim_Lagging"							
Ap2vms_1	"LSim_PT1"							
Ap2vms_2	"LSim_PT1"							
Ap2vms_3	"LSim_PT1"							
rChenel1	Real	0.0	Non-retain					
rChenel2	Real	0.0	Non-retain					
rChenel3	Real	0.0	Non-retain					
uDelayCycles	UInt	20	Non-retain					
uDelayCycles_1	UInt	5	Non-retain					
Temp								
IsTemp	Bool							
Temp	Int							
uTemp	Dist							

Рис. 6.19 – Інтерфейс функціонального блоку fbSAR

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

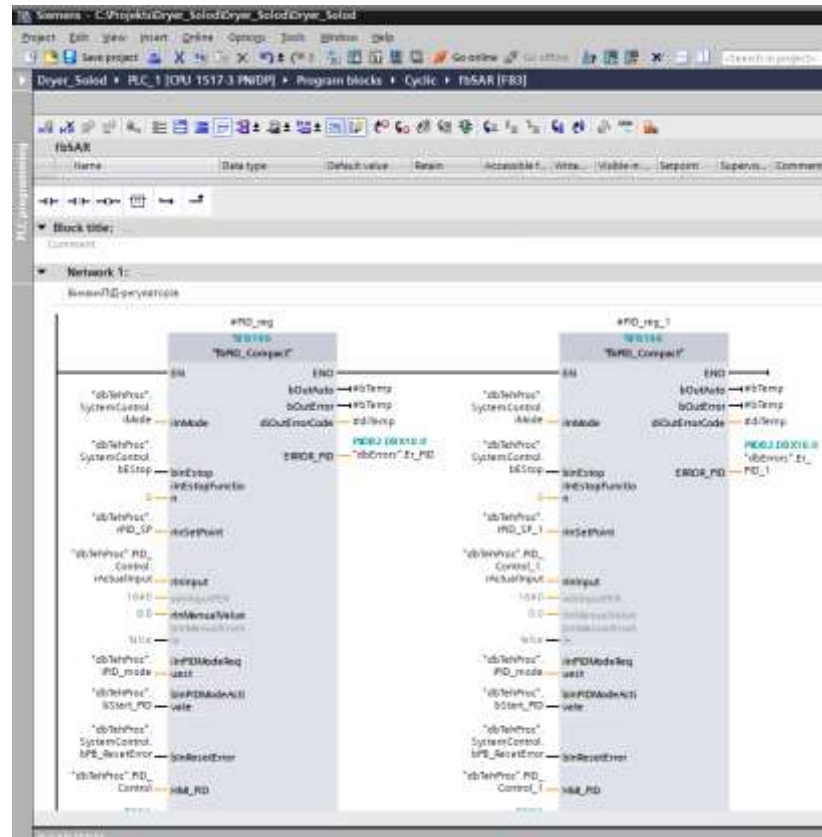


Рис. 6.20 – Фрагмент функціональних блоків fbSAR, що реалізує ПД-регулятори температури солоду на виході зони Б та В

Налаштування параметрів ПД-регуляторів проводимо через їх блоки даних, що знаходяться в розділі Technology objects в дереві каталогу проекту.



Рис. 6.21 – Приклад налаштування параметрів ПД-регулятора температури солоду

Вихідні сигнали ПД-регуляторів підключаються до входів функціональних блоків аналогових клапанів пару (див. рис. 6.22).

Далі за допомогою екземплярів типових ланок: запізнення LSim_Lagging та інерційної ланки першого порядку LSim_PT1, викликається на виконання модель ОК (рис. 6.23). Параметри моделі відповідають значенням, отриманим при ідентифікації моделі ОК.

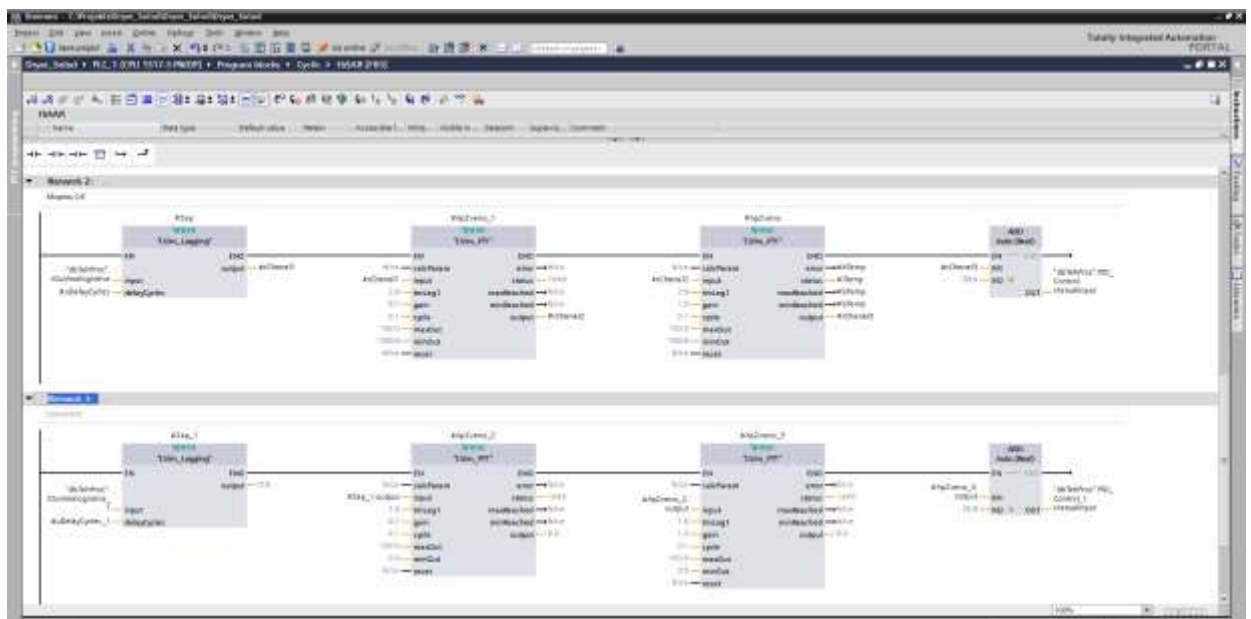


Рис. 6.22 – Фрагмент функціонального блоку fbSAR,
що реалізує модель ОК

Тестування проекту керування сушаркою солоду проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM. На рисунку 6.23 представлений загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.



Рис. 6.23 – Вигляд вікна програми PLCSIM

Результати тестування підтвердили правильність роботи програми, відповідно до вимог алгоритму керування.

6.4 Висновки за розділом

В результаті виконання даного розділу було отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання для процесу сушіння солоду у шахтній солодосушарці.

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 між контролером та НМІ вибираємо тип сполучення «HMI connection» та встановлюємо унікальні адреси технічних засобів в мережі PROFINET. Результати конфігурування наведено на рис. 7.1.

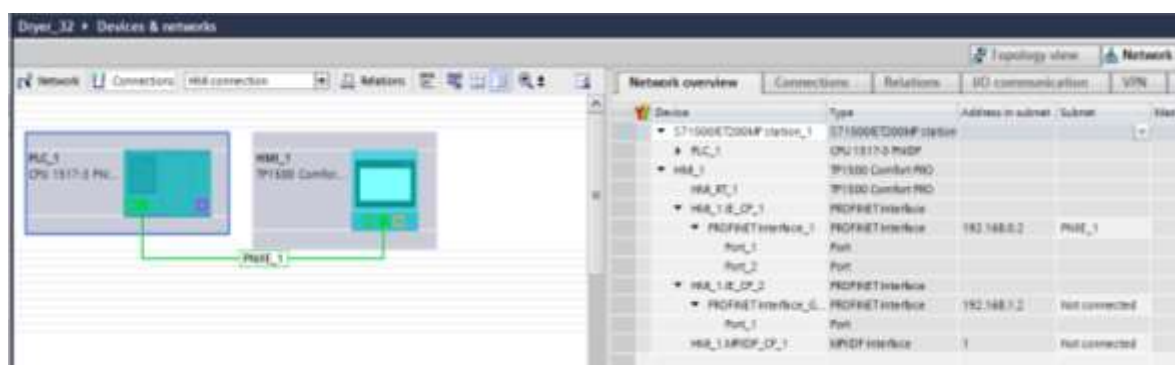


Рис. 7.1 – Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі PROFINET

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

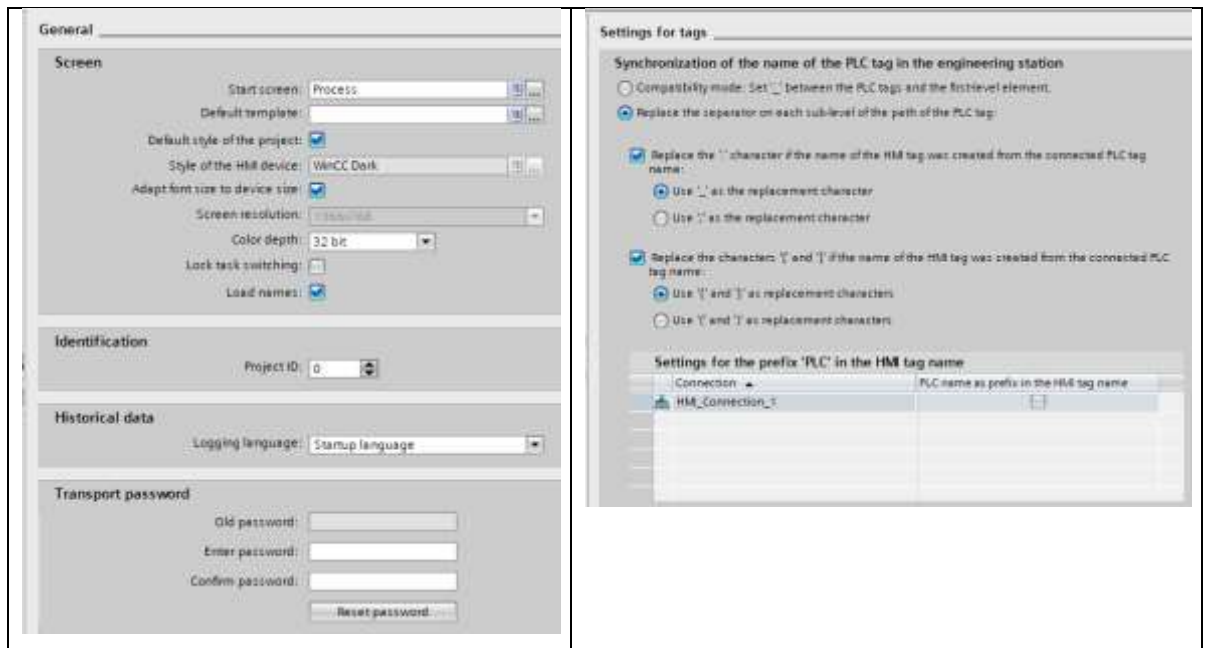


Рис. 7.2 – Конфігурування TP 1900 Comfort

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

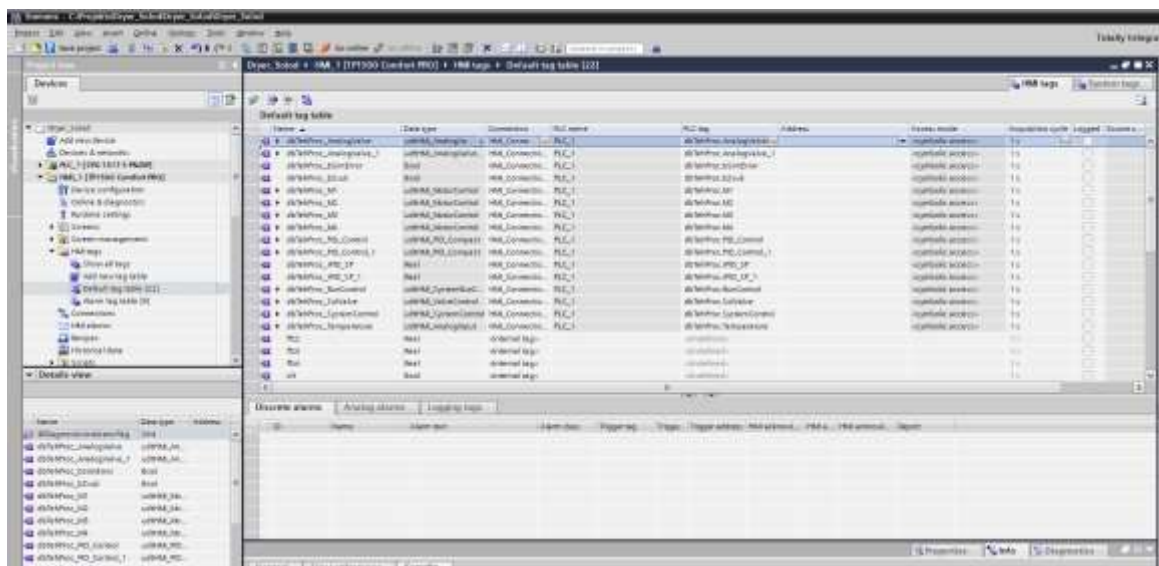


Рис. 7.3 – Приклад створення таблиці НМІ-тегів

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

7.2 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога

Структура екранів АРМ оператора-технолога повинна містити в собі екрани для керування шахтною солодосушаркою:

- екран схеми установки для управління технологічним процесом сушіння солоду;

- екран для спостереження за регульованими змінними (температура солоду у різних зонах);

- екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу технологічних агрегатів.

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

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

- екран для спостереження за регульованими змінними надає можливість спостерігати за графіками у реальному часі, змінювати задане значення та налаштування регуляторів температури солоду;

- екран для відтворення діагностичних повідомлень надає можливість бачити повідомлення про несправності , а також перегляду повідомлень, 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 академії, елемент відображення поточної дати і часу, назву проекту, прізвище розробника проекту.

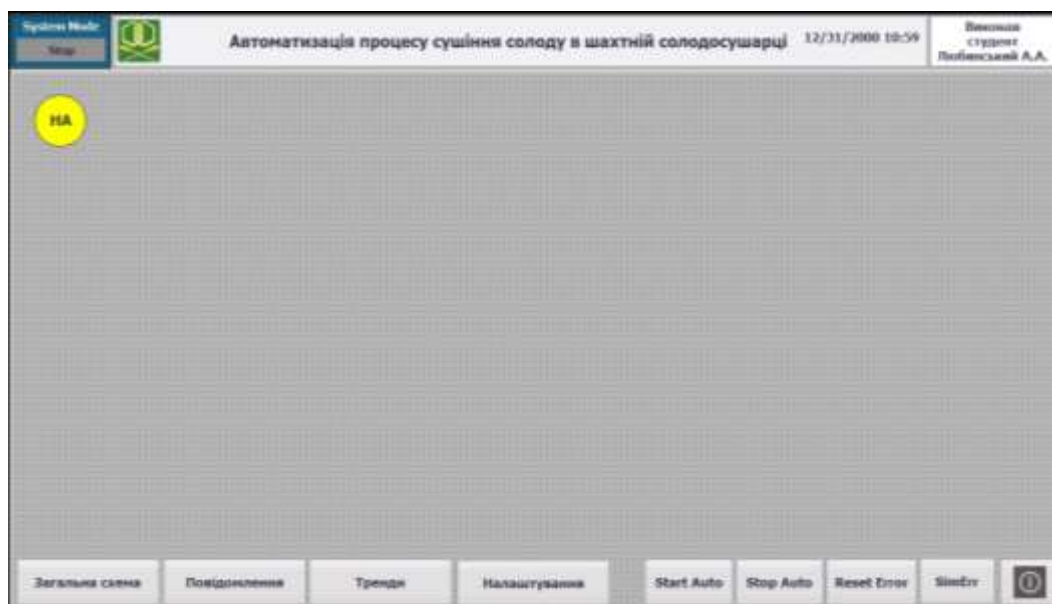


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. Для перемикання вікон використовуються спеціальні системні функції «ActivateScreen» (рис. 7.5).

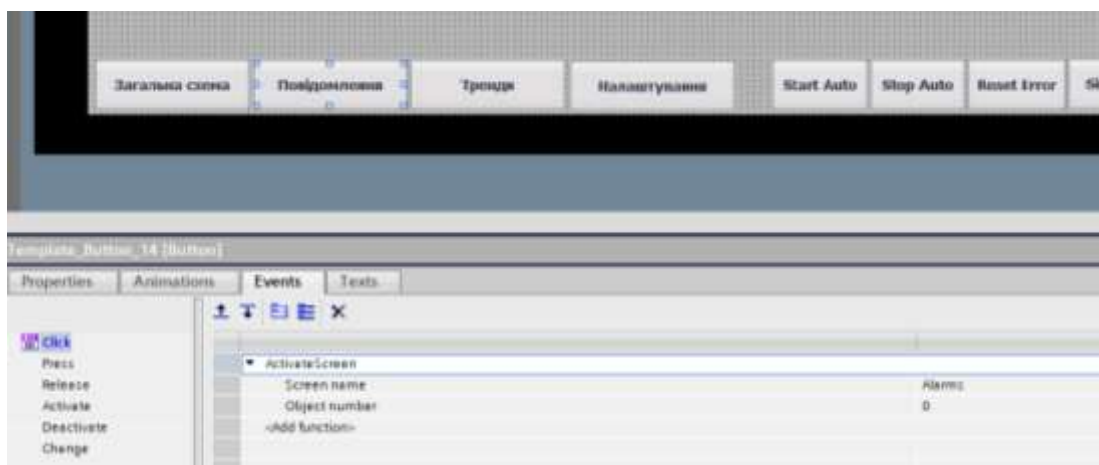


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

Для кожної одиниці обладнання створюємо спливаючі вікна Pop-up screens і заповнюємо їх з відповідного розділу бібліотеки SOL.

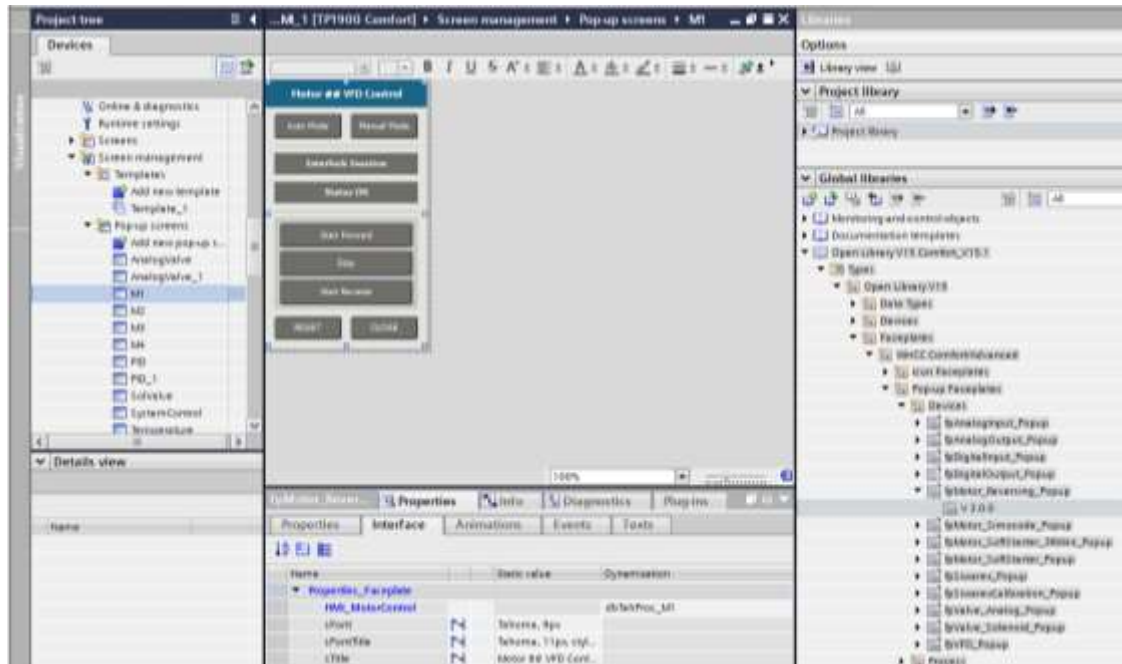


Рис. 7.6 – Приклад створення спливаючих вікон для керування окремим обладнанням

У властивостях Properties кожного спливаючого вікна на вкладці Interface встановлюємо взаємозв'язок із тегом НМІ, який буде забезпечувати динамізацію зображення вікна та можливість керування оператором станом електроприводів та клапанів.

Основний екран «Загальна схема» (рис.7.7) містить схематичне зображення шахтної солодосушарки 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 керування дозволяють оператору контролювати стан обладнання системи і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням системи.

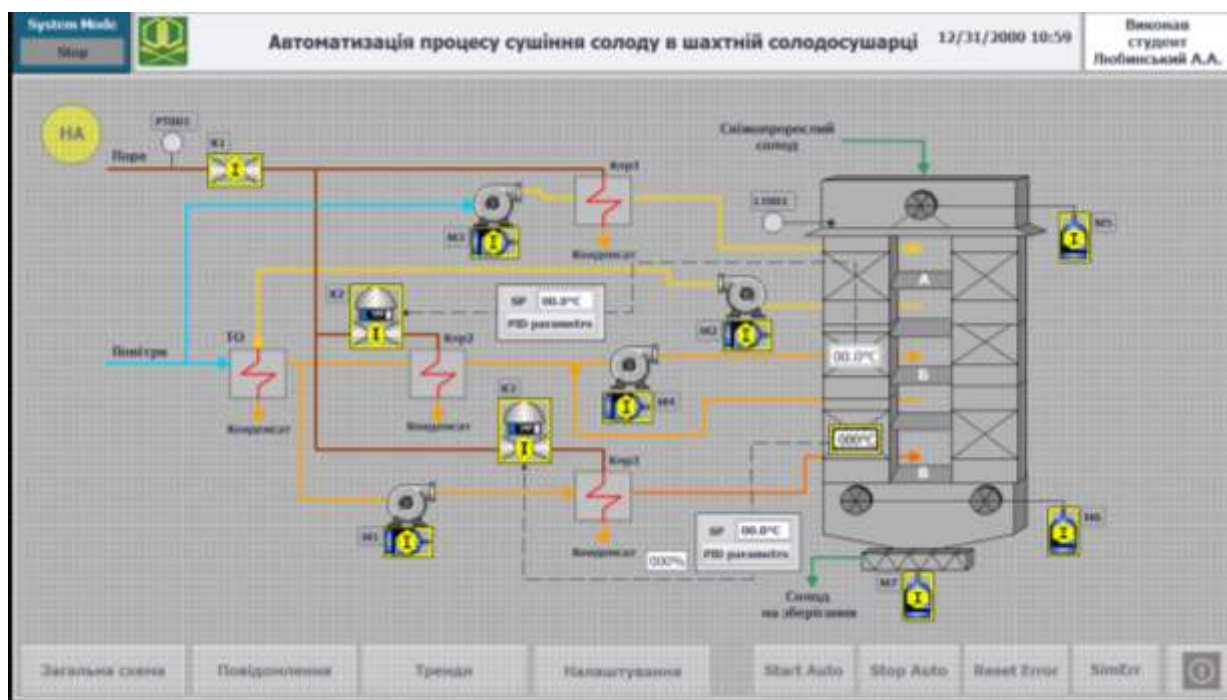


Рис. 7.7 – Загальний вигляд екрану «Схема установки»

Для цього на проєкцію екрану переносимо за допомогою миші з відповідного розділу бібліотеки SOL піктограми обладнання. Приклад налаштування піктограми електроприводу наведено на рис. 7.8.

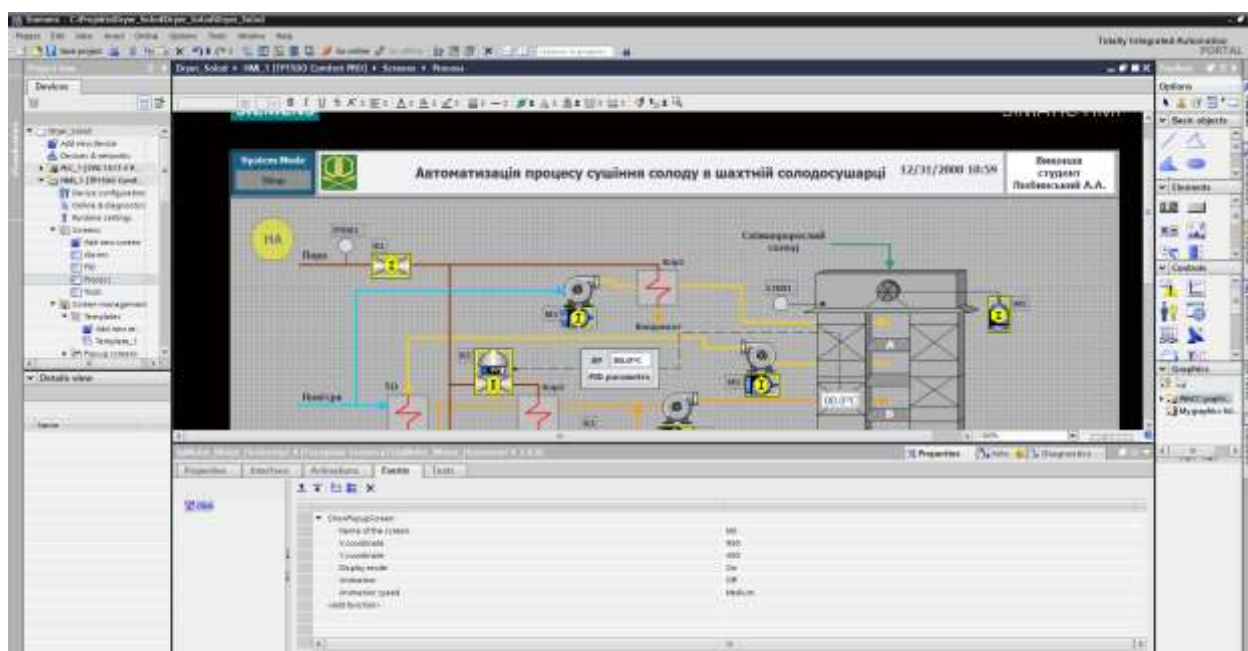


Рис. 7.8 – Приклад налаштування піктограми електроприводу

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. 7.9).

Для побудови графіків зміни температур солоду у різних зонах використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.10.

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

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

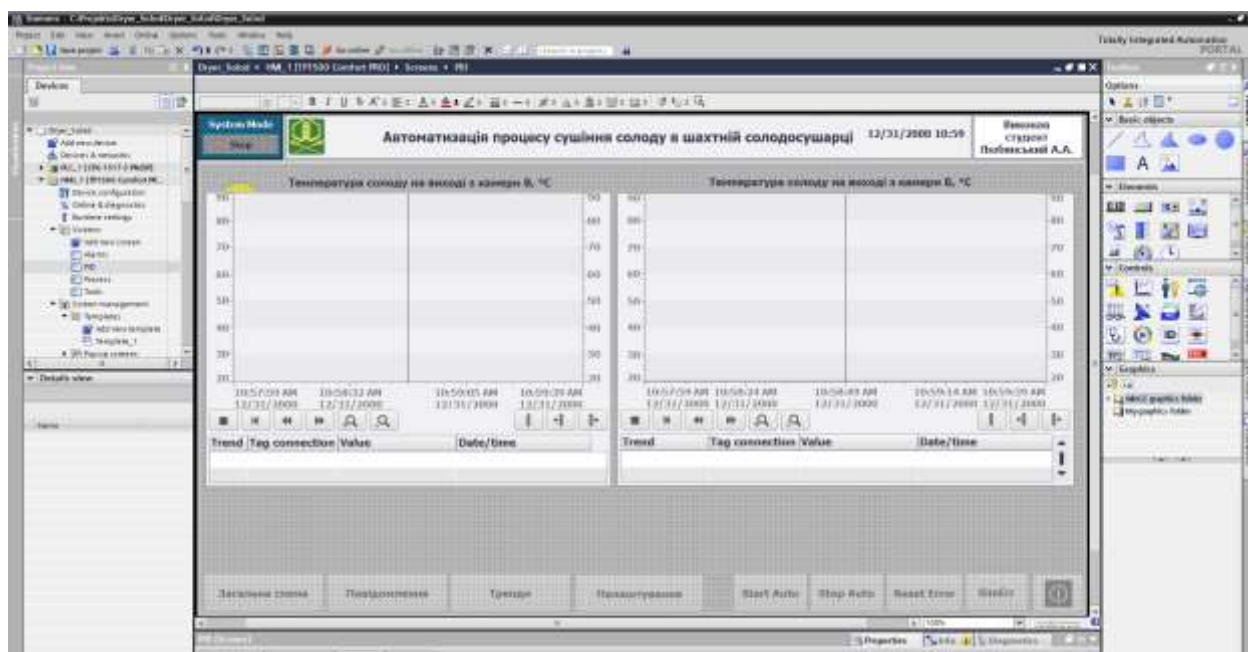


Рис. 7.9 – Екран графіків

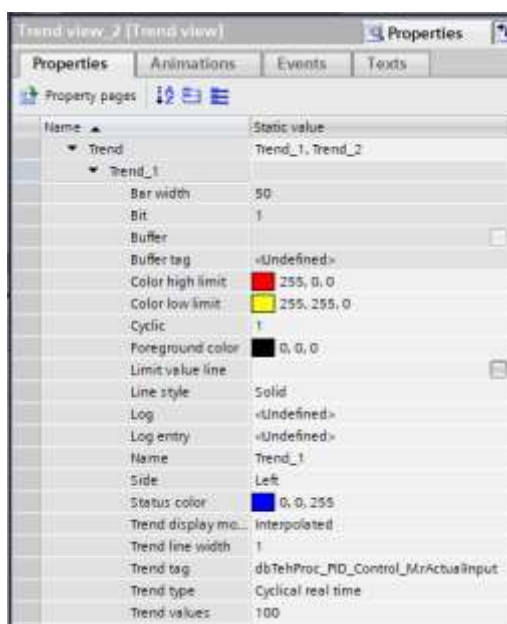


Рис. 7.10 – Вікно налаштування елементу Trend



Рис. 7.11 – Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про стан технологічного процесу сушіння солоду і виникнення подій (Alarm) з обладнанням солодосушарки 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.

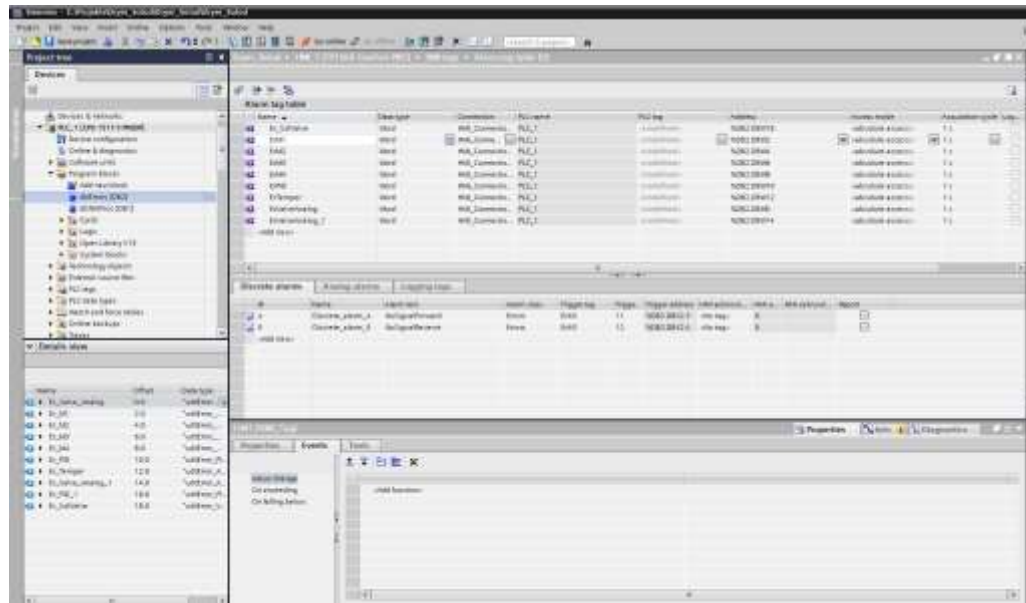


Рис. 7.13 – Приклад прив'язки тегів dbErrors з HMI-тегами

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.

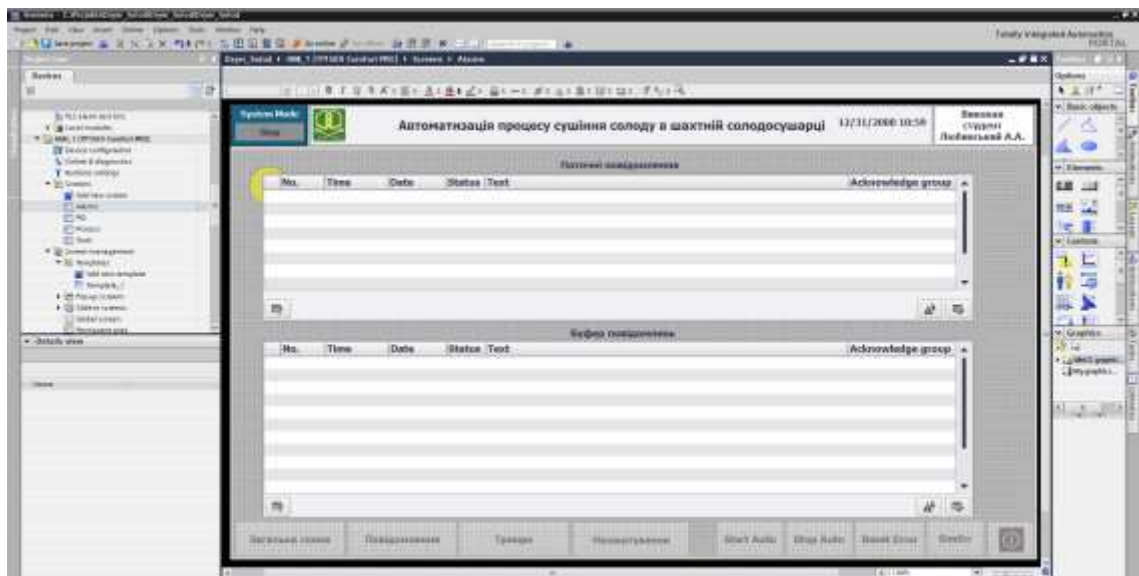


Рис. 7.14 – Екран Alarms повідомлень про несправності

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

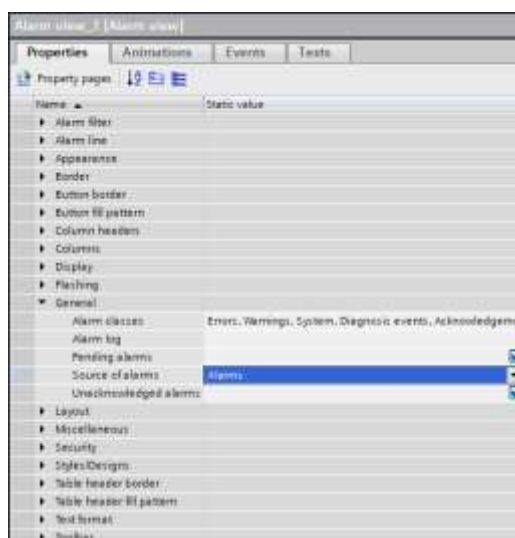


Рис. 7.15 – Налаштування властивостей елементу Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.4 Тестування системи керування

Тестування системи керування процесом сушіння солоду у шахтній солодосушарці проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовищі якої завантажуюємо проект ПЛК після його компіляції.

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

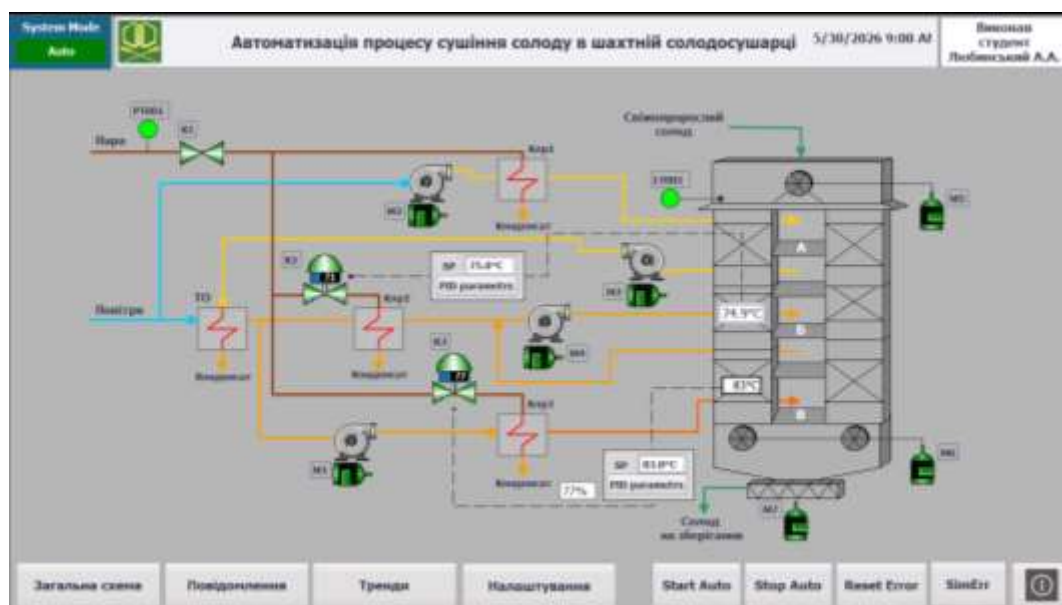


Рис. 7.17 – Схема установки в автоматичному режимі

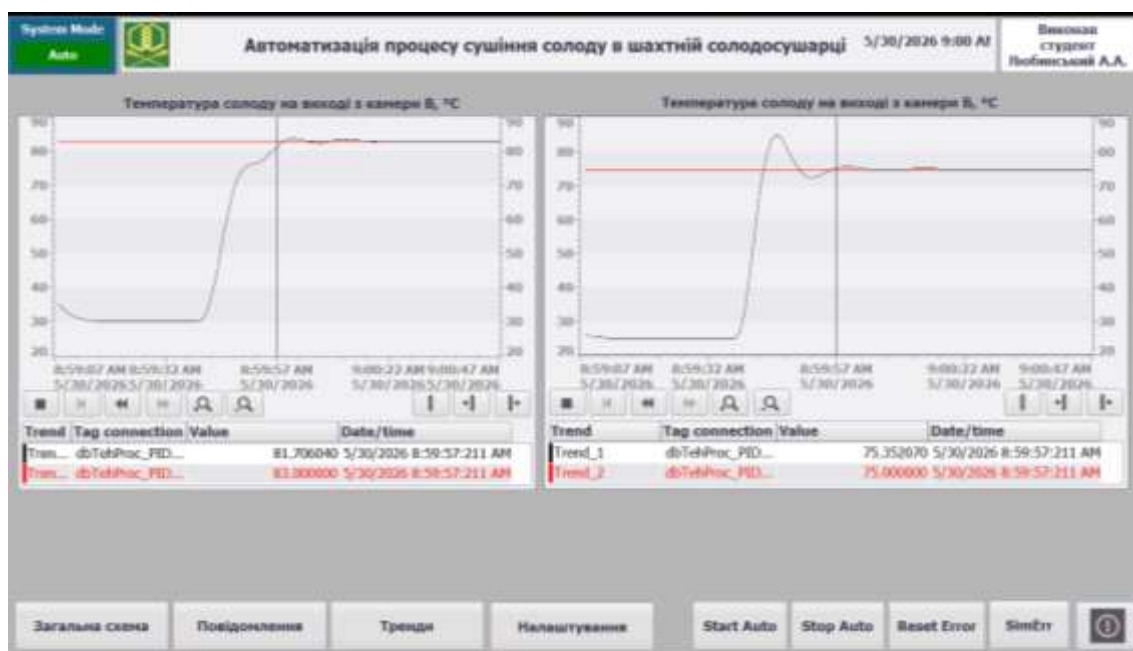


Рис. 7.18 – Екран PID в тестовому режимі

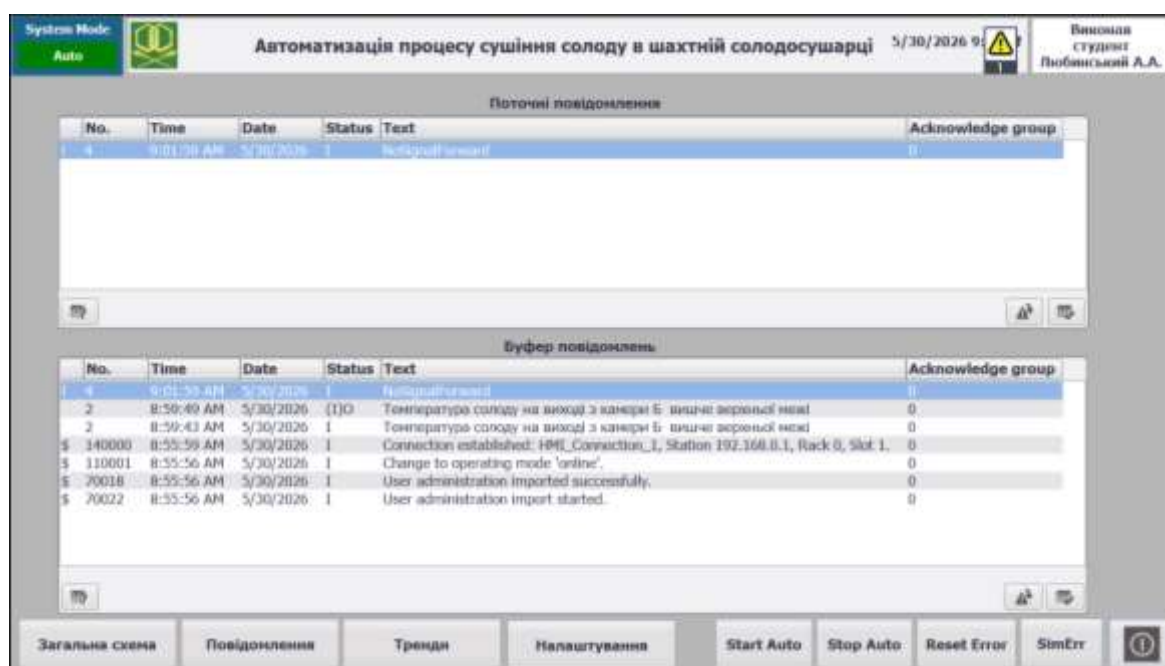


Рис. 7.19 – Екран Alarms в тестовому режимі при імітації несправності



Рис. 7.20 – Екран «Схема установки» в тестовому режимі при імітації несправності

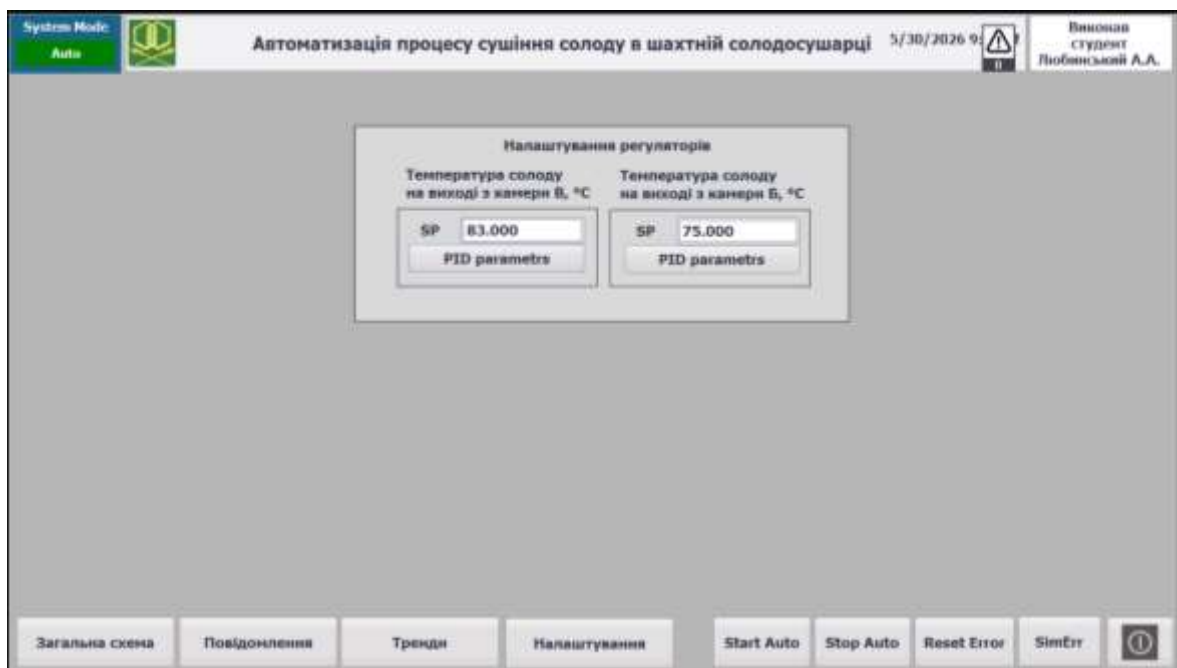


Рис. 7.21 – Екран Налаштування в тестовому режимі.

7.5 Висновки за розділом

У цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи керування технологічним процесом сушіння солоду в шахтній солодосушарці.

Створені екран для відображення схеми шахтної солодосушарки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу (температури у різних зонах) та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.

Тестування системи в цілому продемонструвало її працездатність 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

Сушарка для солоду є доволі енергомістким об'єктом, який включає до свого складу 7 електроприводів і 2 клапани. Щоб покращити завадостійкість системи автоматичного керування (САК) сушаркою, була запропонована наступна технічна структура, в якій розділена силова і інтелектуальна частини (рис. 8.1).

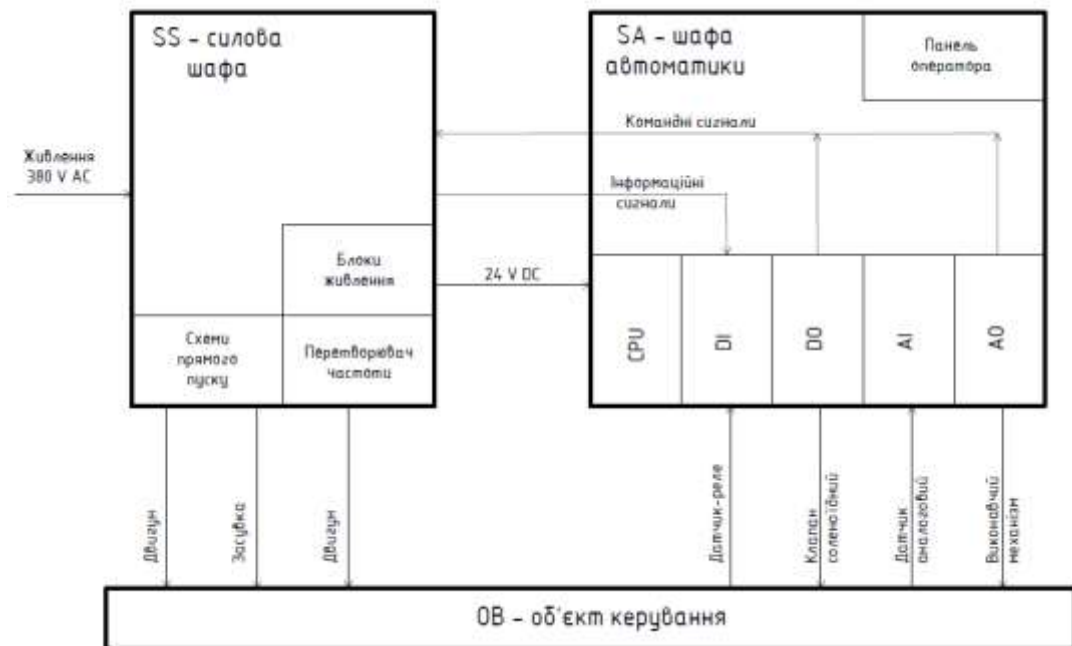


Рис. 8.1 – Структура САК

В силовій шафі розміщені технічні засоби для керування електроприводами та блоки живлення. В шафі автоматики розміщені технічні засоби інтелектуальної частини САК. Таке технічне рішення дозволяє зменшити вплив струмів, які протікають по силовим кабелям, на роботу ПЛК і панелі оператора.

За результатами вибору комплексу технічних засобів (розділ 5) і відповідно до складеної технічної структури системи керування розроблено комплект її проектної документації. Комплект включає наступні документи:

Графічні:

- 1 – схему автоматизації сушарки для солоду;
- 2 – принципову електричну схему (ПЕС) керуванням електроприводами;
- 3 – ПЕС живлення засобів автоматизації;
- 4 – схему зв'язків по мережі Profinet;
- 2 – ПЕС підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 3 – ПЕС підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 4 – ПЕС підключення до блоку аналогових входів ПЛК;
- 5 – ПЕС підключення до блоку аналогових виходів ПЛК.

Елементи керування та живлення електроприводів встановлюються в силовій шафі на DIN-рейку 35 мм. В даному ескізному проекті ця шафа детально не розглядалась.

Шафа оператора знаходиться у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площі шафи оператора встановлюють ПЛК та елементи живлення до нього, а на фасадній двері – панель оператора.

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

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

- прийом і дешифрацію команд по мережам PROFINET;
- введення, фільтрацію й нормалізацію аналогових сигналів входу – модуль AI 4xU/I (6A7 1531-7KF00-7AB0) та формування керуючих впливів на виході - та модуль AO 4xU/I/6ES7 (6AG 1532-5HD00-7AB0);

- опитування стану дискретних входів - модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) та вивід із дискретних виходів сигналів керування - модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0).

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

8.2 Розробка схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й роз'ясняє процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до сучасного стандарту - 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...20 mA DC). Вихідні аналогові сигнали струму (4...20 mA DC) сприймаються виконавчими механізмами.

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

- 1 – 7 - керування та контроль стану електроприводів M1 – M7;
- 8, 9 - керування та контроль стану соленоїдних клапанів TV8, TV9;
- 10, 11 – контроль і регулювання температури солоду в сушарці;
- 12, 13 – контроль тиску гріючої пари рівня солоду в сушарці;

У контурах 1 – 9 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 10 реалізована система контролю та регулювання температури солоду в зоні Б сушарки. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем ТУ/10 пропорційний температурі сигнал струму 4...20 мА DC подається на регулятор ТС/10, який формує керуючий вплив у вигляді 4...20 мА DC, що подається виконавчий механізм заслінки TCV10. Регулятор програмно реалізований в ПЛК. В контурі передбачена функції ручного задатчика і індикації регульованої змінної НІС/10, які реалізовані в панелі оператора. Контур 11 працює аналогічно і стабілізує температуру солоду в зоні В сушарки.

В контурі 12 сигнал від датчика-реле тиску PS/12 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК, що дозволяє сформувати функції індикації та сигналізації PIS/12 на панелі оператора.

В контурі 13 сигнал від датчика-реле рівня LS/13 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК, що дозволяє сформувати функції індикації та сигналізації LIS/13 на панелі оператора.

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

8.3 Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом

Дана ПЕС забезпечує місцеве і дистанційне керування. Всі компоненти схеми розміщуються в силовій шафі SS. Живлення електропривода М1 здійснюється від мережі типу TN через автомат захисту електродвигуна Q1, клеми контактора КМ1, кабель W2 та вимикач ОВ-Q1.

Місцеве керування електроживленням котушки контактора КМ1 здійснюється від фази L1 завдяки використанню автоматичного вимикача Q2, кнопки Стоп S2 та кнопки Пуск S4. Перемикання в дистанційний режим

здійснює перемикач S3. Керуючий сигнал від модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) контролера формує проміжне реле K2, яке своїм контактом здійснює електроживлення котушки KM1.

Стани KM1, S3, K1 у вигляді сигналів 24 V DC подаються до дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0).

8.4 Розробка принципової електричної схеми живлення

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

Освітлення в шафі забезпечує лампа H2, яка отримує живлення від фази L1 через кнопку S7. В шафі передбачена розетка REC1, яка отримує живлення від фази L1 через диференційний вимикач Q5.

8.5 Розробка принципової схеми мережевих підключень

На даній схемі вказані кола живлення CPU ПЛК 24 V DC від схеми живлення через вимикач з запобіжником F1 та панелі оператора через вимикач з запобіжником F3. Пунктирними лініями показані мережеві зв'язки між ПЛК, панеллю і комп'ютером програмування.

8.6. Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК

До дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) по кабелях W 4, 5, що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами M1, M2, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування. Оскільки підключення електроприводів M3 – M7 аналогічне, то воно на схемі не показане.

По кабелям W6, W8, що підключається до клем SA-X1, передаються сигнали від датчика-реле рівня LS/13 та тиску PS/12.

На дискретних виходах модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелям W1, 4, 5, 9, 12, 16, 17, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами M1 – M7.

По кабелях W3, 15, що підключаються до клем SA-X1, передаються сигнали керування 0 або 24 V DC з виходів модуля на проміжні реле K3, K4, які в свою чергу, керують станом соленоїдних клапанів TV8? TV9.

Модуль аналогових входів AI 4xU/I (6A7 1531-7KF00-7AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. До його аналогових входів за допомогою екранованих кабелів W10, 11, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики температури з уніфікованим виходом 4...20 mA DC TY10, TY11.

Модуль аналогових виходів AO 4xU/I/6ES7 (6AG 1532-5HD00-7AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. Аналогові виходи цього модуля формують сигнали 4...20 mA DC, які за допомогою кабелів W13, 14, що підключаються до клем SA-X1, передають сигнали керування на виконавчі механізми TCV10, TCV11.

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

8.8 Охорона праці

На людину – оператора АРМ сушарки в процесі його трудової діяльності можуть впливати небезпечні (викликають травми) і шкідливі (викликають захворювання) виробничі фактори. При роботі сушарки відбувається збільшення температури повітря. Присутнє підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини. До НШВФ (небезпечні та шкідливі виробничі фактори) входить підвищений рівень статичної електрики, що виникає в наслідок тертя ремінних передач двигунів. Може бути відсутнім або бути недостатнім природне освітлення. При роботі обладнання виникає підвищений рівень шуму на робочому місці. Присутні психофізіологічні фактори, такі як: розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів і монотонність праці.

Заходи щодо захисту від НШВФ.

Потрібно забезпечити захист поверхні обладнання де спостерігається низька температура теплоізоляційними щитами. Також рекомендується встановити в цехове приміщення вентиляцію та очищення повітря, здійснювати кондиціонування повітря.

Для захисту від ураження електричним струмом, необхідно використовувати захисні пристрої, пристрої для автоматичного контролю і сигналізації, ізолюючі пристрої і покриття, захисного заземлення та занулення, автоматичного відключення, вирівнювання потенціалів і зниження напруги.

Для захисту від підвищеного рівня статичної електрики, встановлюються заземлювальні пристрої, тобто сукупність заземлювача і заземлюючої шини провідника, з'єднаного безпосередньо з кутером.

Для захисту персоналу від випадкового дотику до електропроводів їх забезпечують закритими кожухами в лотках. До засобів нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць, відносяться природне

освітлення і штучне освітлення. Виробниче обладнання не повинно затуляти світлові отвори. При природному освітленні, повинно бути передбачено двостороннє бічне освітлення. При штучному освітленні проектом повинно бути передбачено робоче, аварійне та евакуаційне освітлення. Для електричного освітлення застосовуються LED лампи одного тону освітлення.

Забезпечення безпеки при експлуатації системи автоматизації.

Робота оператора відноситься до категорії Іб - виконання роботи, яка виконується сидячи, і супроводжується деякими фізичним напругою. Здійснюється гігієнічне нормування виробничого мікроклімату. При виконанні роботи оператором, пов'язаної з нервово-емоційною напругою, необхідно дотримуватися оптимальних умов клімату в операторській (температура повітря 21-23°C, відносна вологість 45-60%, швидкість руху повітря не більша 0,1 м /с. - для теплого періоду року; температура повітря 20-24 ° С, відносна вологість 45-60%, швидкість руху повітря не більша, 2,5 м/с. - для холодного періоду року).

Для оператора є обладнане місце – станція оператора АРМ ТП, яке в свою чергу є максимально комфортне для спостереження за ходом ТП, усі параметри процесу виведені на одній мнемо-схемі для спостереження.

Усі прилади за місцем встановлення, які мають межі показів по мінімуму і максимуму (тиск, температура, рівні, сила струму), для наглядного розуміння повинні обладнуватися або червоними стрілками чи мітками на циферблатах для оперативного спостереження блокіровочно -допустимих верхніх або нижніх меж.

Переліки небезпечних і шкідливих факторів при монтажі щитів, пультів, розміщенні апаратури в операторських (ОП), виконанні комутаційних робіт у щитах і цих приміщеннях; розробляють перелік заходів щодо безпечного виконання цих робіт.

Приміщення для встановлення щитів і пультів повинні бути звільнені від опалубки, будівельних містків, підмостків, очищені від будівельного брухту. Навантаження і розвантаження щитів, пультів і конструкцій до них, масою більше 50 кг, а також підймання їх на висоту більше 3м необхідно виконувати за допомогою вантажопідіймальними механізмами. Перед установкою приладів необхідно перевірити надійність конструкцій, на які вони будуть монтуватися. Кріплення приладів на технологічному обладнанні і трубопроводах не повинні порушувати цілісність і робото спроможність обладнання і трубопроводів, на яких вони будуть установлюватися.

Забороняється виконувати: монтаж приладів масою більше 5 кг одним робітником; монтажні роботи в щитах до їх проектного закріплення; монтаж приладів з драбин.

В місцях установки приладів і засобів автоматизації, які важкодоступні для монтажу і експлуатаційного обслуговування, повинно бути в наявності до початку монтажу закінчено спорудження лісів, драбин, колодязів і площадок у відповідності з робочими кресленнями будівельної частини проекту. Кріплення приладів і засобів автоматизації на несучих конструкціях (стінах, щитах і т.п.) виконуються стандартними кріпильними виробами без зірваних різьб і граней з необхідною затяжкою різьбових з'єднань. При вібраціях в місцях встановлення приладів різьбові з'єднання повинна мати пристосування, які виключають самовільне їх відгвинчування (пружинні шайби, гравери, контргайки, шплінти і т.д.).

Перелік заходів щодо безпечного проведення планово-попереджувальних і аварійно - відновлювальних робіт, пов'язаних із системою автоматизації.

Обслуговування й експлуатація устаткування на підприємствах нашої країни проводяться за єдиною системою планово-попереджувальних ремонтів (ППР). Ця система становить сукупність організаційних і технічних заходів щодо догляду, нагляду, обслуговування й ремонту устаткування, проведених профілактично за заздалегідь складеним планом з метою запобігання прогресивного зношування, попередження аварій і підтримки устаткування в постійній експлуатаційній готовності.

Проведення режимно-налагоджувальних робіт слід передбачати не рідше одного разу на 1 рік. На позиціях, які являють собою шкідливих наслідків в ході некоректної роботи приладу, такі прилади проходять державний нагляд повірювачем-спеціалістом та ставиться клеймо. Інші контрольні прилади проходять калібрування та ставиться клеймо проходження перевірки.

Організації, які виконують пусконалагоджувальні роботи, повинні бути зареєстровані у органах Держнаглядохоронпраці. Всі теплові мережі, які знаходяться в експлуатації, незалежно від їх балансової належності, терміну експлуатації повинні періодично піддаватися обстеженням з метою оцінки їх технічного стану та прийняття обґрунтованих заходів по забезпеченню надійності та безпечності при подальшій експлуатації відповідно до Правил обстежень, оцінки технічного стану, паспортизації та проведення планово-попереджувальних ремонтів теплових мереж і споруд до них.

8.9 Висновки за розділом

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

Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування сушаркою солоду. 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 солоду і детально досліджено та процес сушіння, що є заключною складовою цього виробництва. Технологічний процес сушіння солоду є одним з ключових процесів виробництва солоду. Підвищення ефективності саме цього процесу здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому саме процес сушіння солоду було обрано в якості об'єкту для модернізації системи керування. Провівши аналіз 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 енерговитрат та втрат від браку готової продукції.

Виходячи з вище викладеного, при впровадженні для процесу виробництва сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці модернізованої системи керування на базі мікропроцесорної техніки, яка буде ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися: зниження витрат електроенергії та втрат від браку готової продукції. Для цього слід буде поліпшити якість регулювання температур в основних зонах сушарки, удосконалити існуючі алгоритми логічного керування, замінити існуючу елементно-технічну базу на більш нові засоби керування.

Була проведена ідентифікація моделі процесу сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці, 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 солодосушарці 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 каналів регулювання температур в зонах Б і В солодосушарки.

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 контурів регулювання температур.

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%. Тому у подальшому доцільно використовувати САР базової структури з ПД-регуляторами.

В ході розробки алгоритмів логічного керування для сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці було складено регламенти функціонування та алгоритми автоматичного керування пуском та технологічною зупинкою процесу сушіння солоду..

Було проведено вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити керування процесом сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК.

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

Були визначені процесорний блок та блоки вводу виводу фірми Siemens сімейства S7-1500, проведено їх конфігурування.

Розроблені програми логічного керування технічними засобами та регулювання температур сушіння солоду із використанням бібліотечних функціональних блоків.

Проведено тестування цих програм, яке засвідчило їх відповідність алгоритмам.

Розроблено інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці. 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 S7-1500.

Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу сушіння солоду в паровій шахтній солодосушарці. 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. https://malteurop.com.ua/?utm_source=chatgpt.com – офіційний сайт ТОВ Малтюрорп Юкрейн
2. https://malt.ua/?utm_source=chatgpt.com – офіційний сайт ТОВ «Захід-Солод» (WEST-MALT).
3. Технологія солоду і пива : підручник / за ред. В. А. Домарецького. — Київ : НУХТ, 2003. — 432 с.
4. Технологічне обладнання хлібопекарських і пивоварних виробництв : навч. посіб. / О. М. Васильківський, В. П. Шиян. — Київ : Центр учбової літератури, 2010. — 368 с.
5. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник / за ред. І. Ф. Малежика. — Київ : НУХТ, 2007. — 400 с.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

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

17. 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.

18. 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.

19. 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.

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

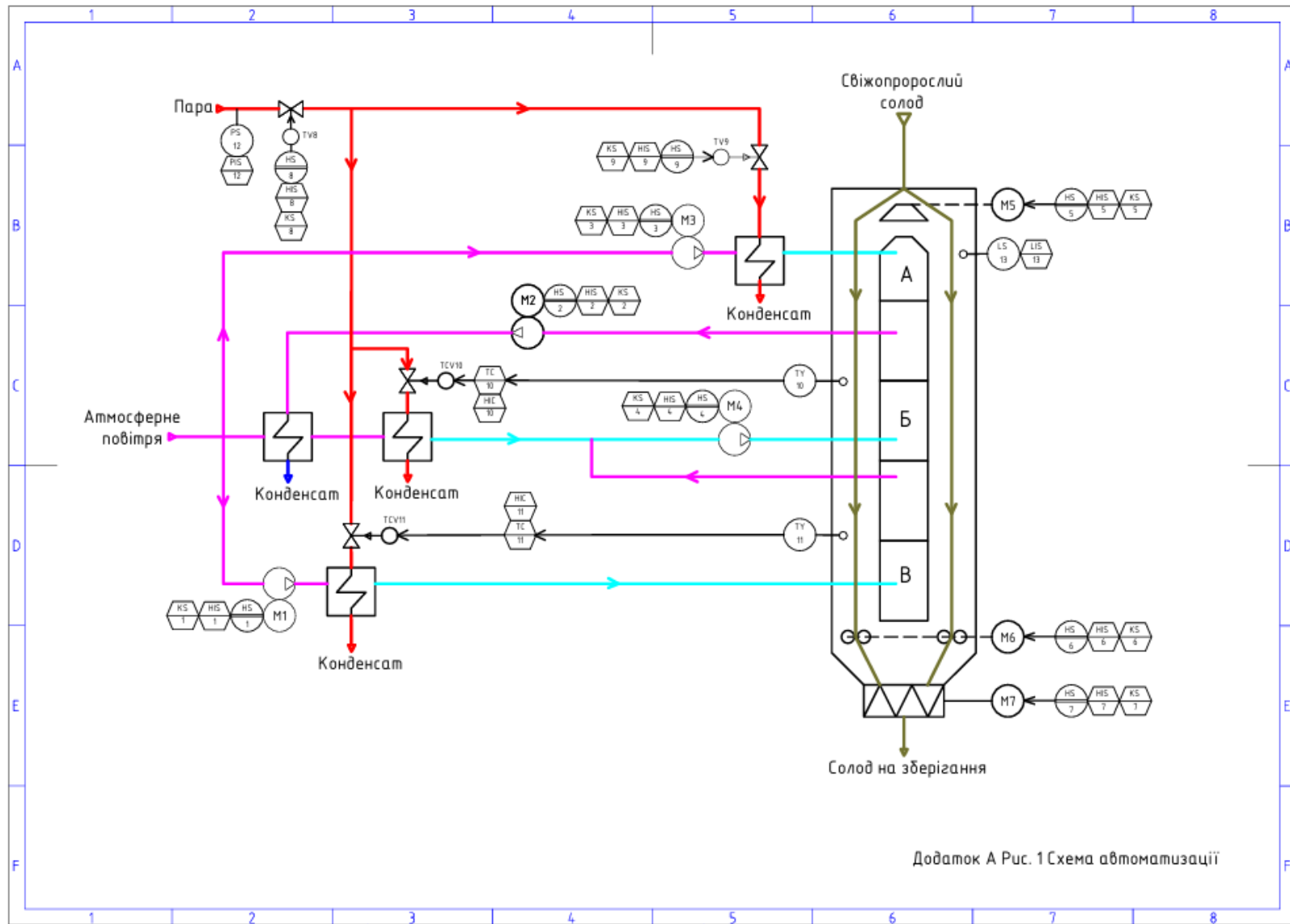
21. ДСТУ 3008:2015 Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ, ДП УкрНДНЦ, 2016. 31 с.

Додатки

ДОДАТОК А. Документація до схеми автоматизації

Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

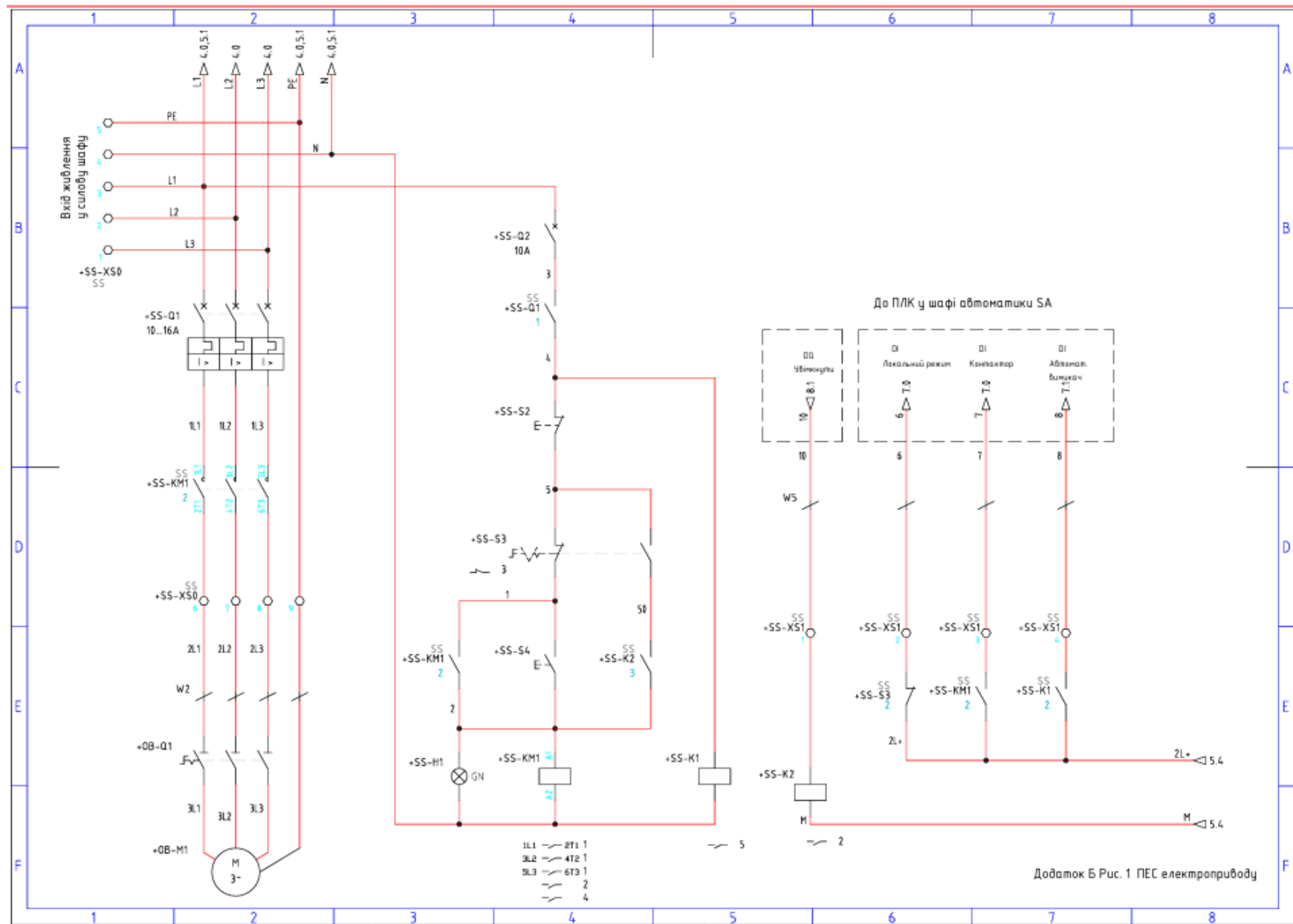
Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
TY/10 TY/11	Датчик температури солоду JOMO 902123/10	2	
PS/12	Датчик – реле тиску пари Danfoss BCP3H	1	
LS/13	Датчик-реле рівня солоду в сушарці OPTISWITCH 3100 C	1	
TCV/10 TCV/11	Регулюючий клапан Ari-Stevi 440 Ari-Premio Plus 2G	2	
	<u>Прилади у шафі оператора</u>		
PC/10, 11 KS/1... KS/9	Центральний процесор CPU 1513 1 PN	1	
HIS/1... HIS/9	Панель оператора TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	
HS/1... HS/9	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	9	
	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	9	

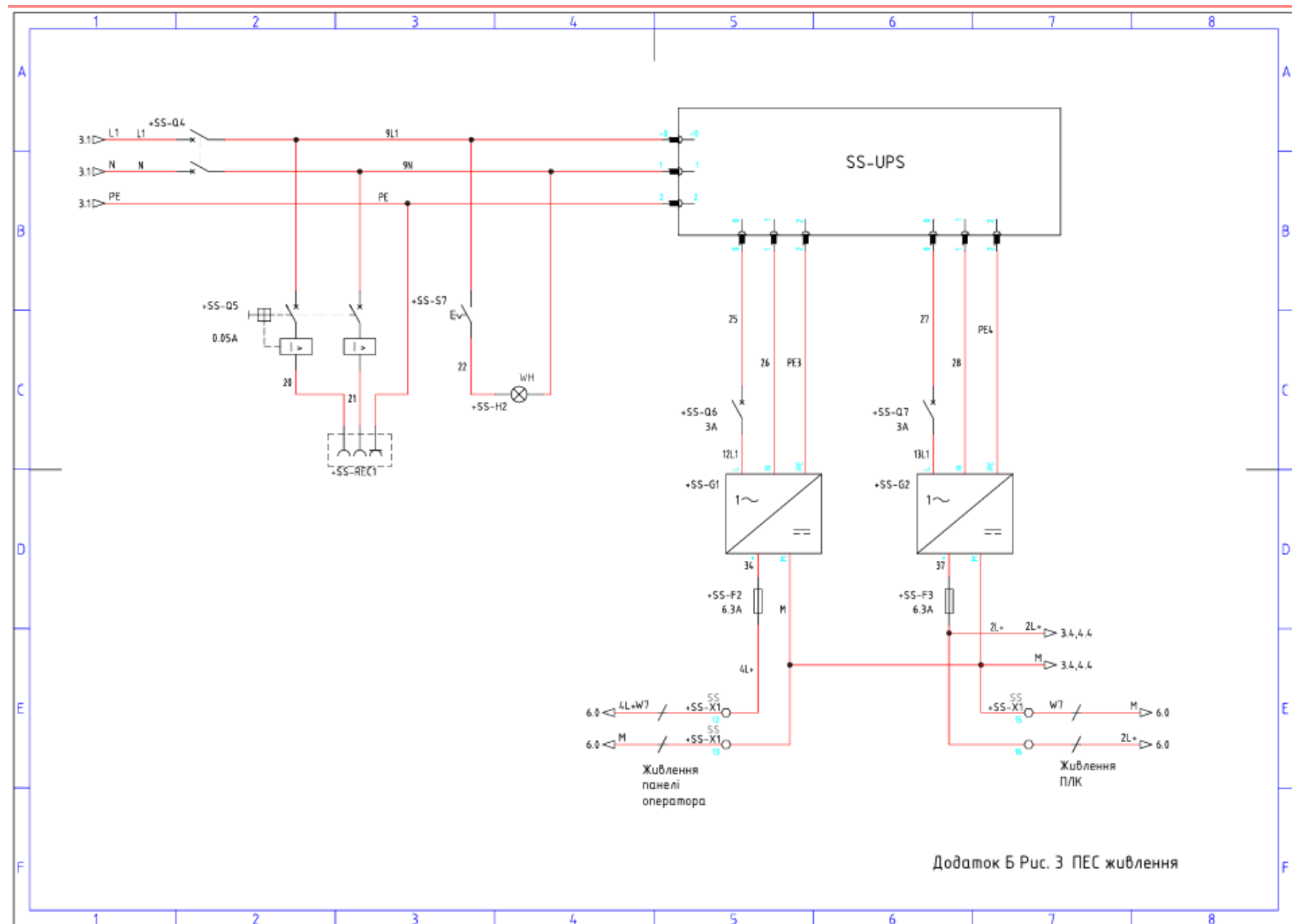


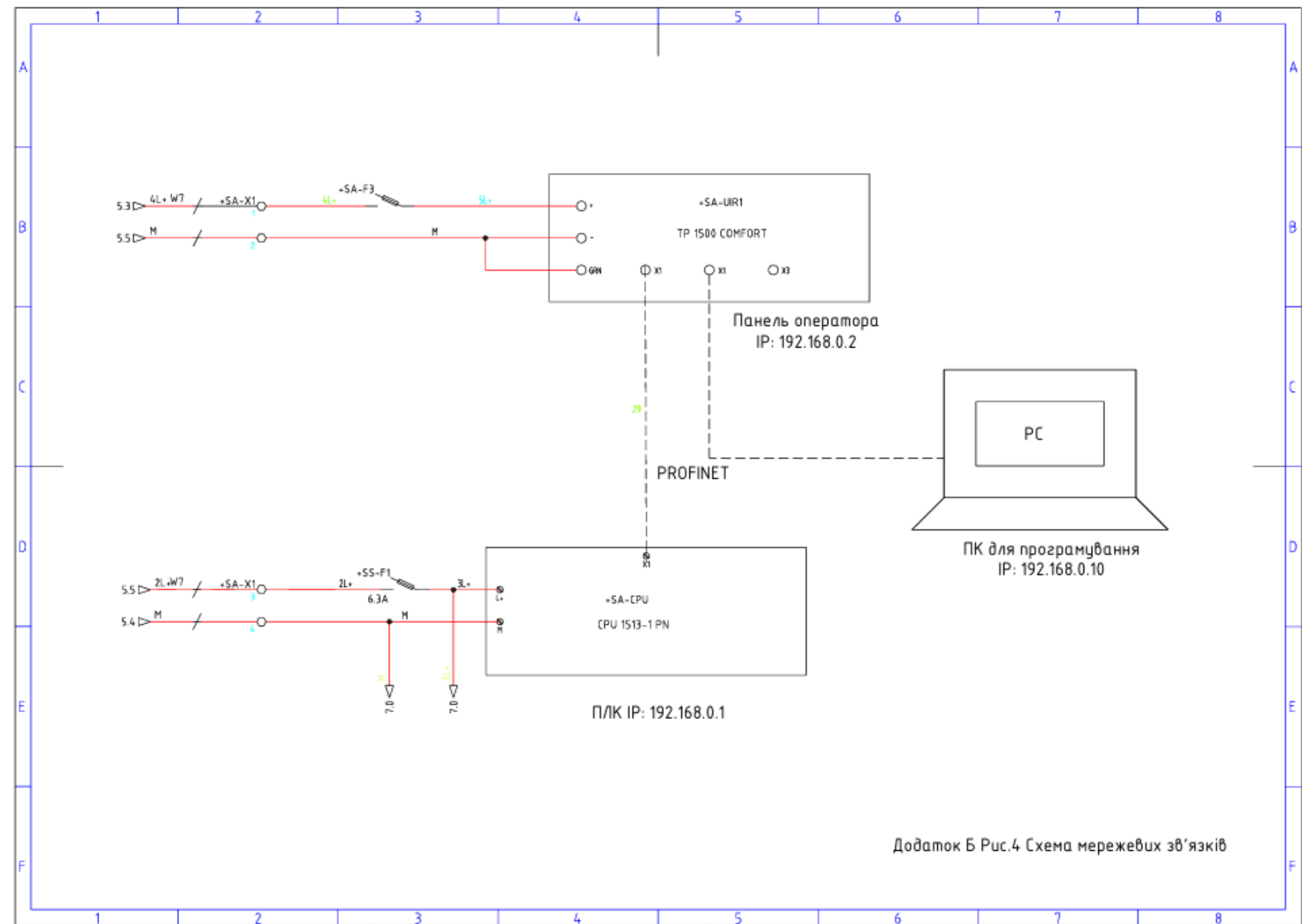
ДОДАТОК Б. Документація до принципової електричної схеми

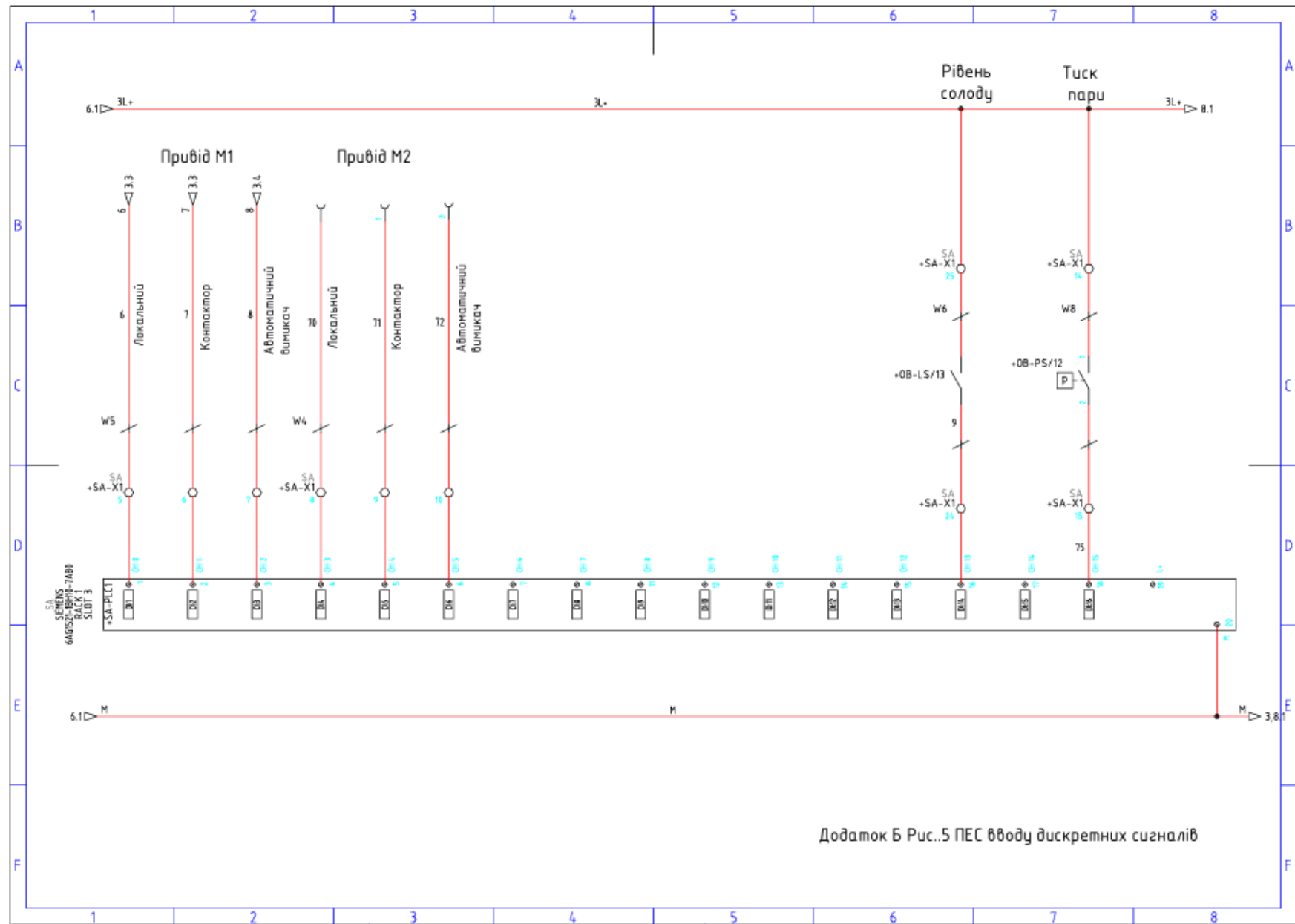
Таблиця Б1 – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми

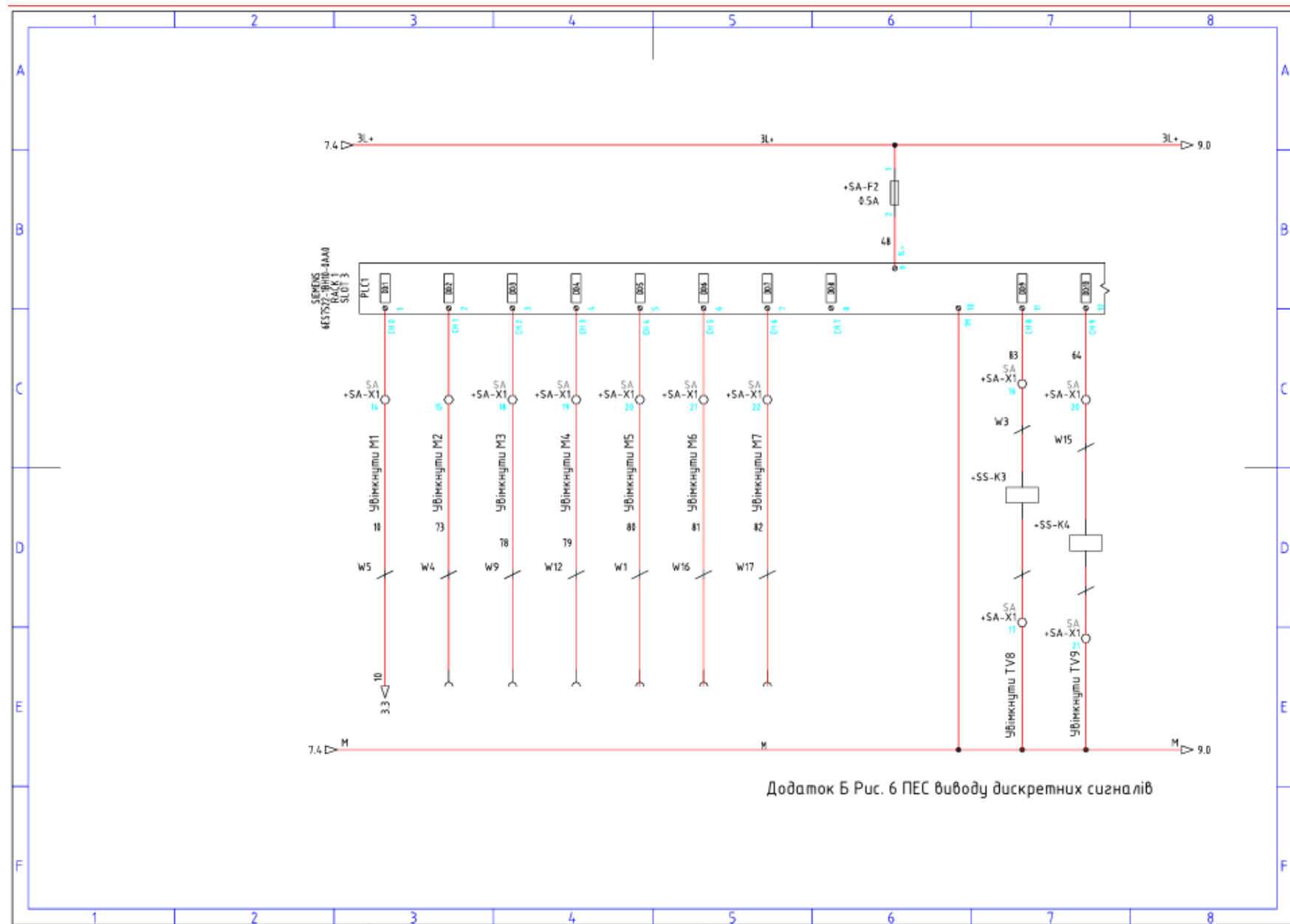
Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>DI</u>		
PLC1	CPU 1214C (6ES7 214-1BG40-0XB0))	1	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
PS/7	Реле тиску RT 200L	1	
	<u>DO</u>		
PLC1	CPU 1214C (6ES7 214-1BG40-0XB0))	1	
HA	Дзвоник електричний, живл. 24 V DC	1	
K1	Реле проміжне Schneider Electric Zelio Relay 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	

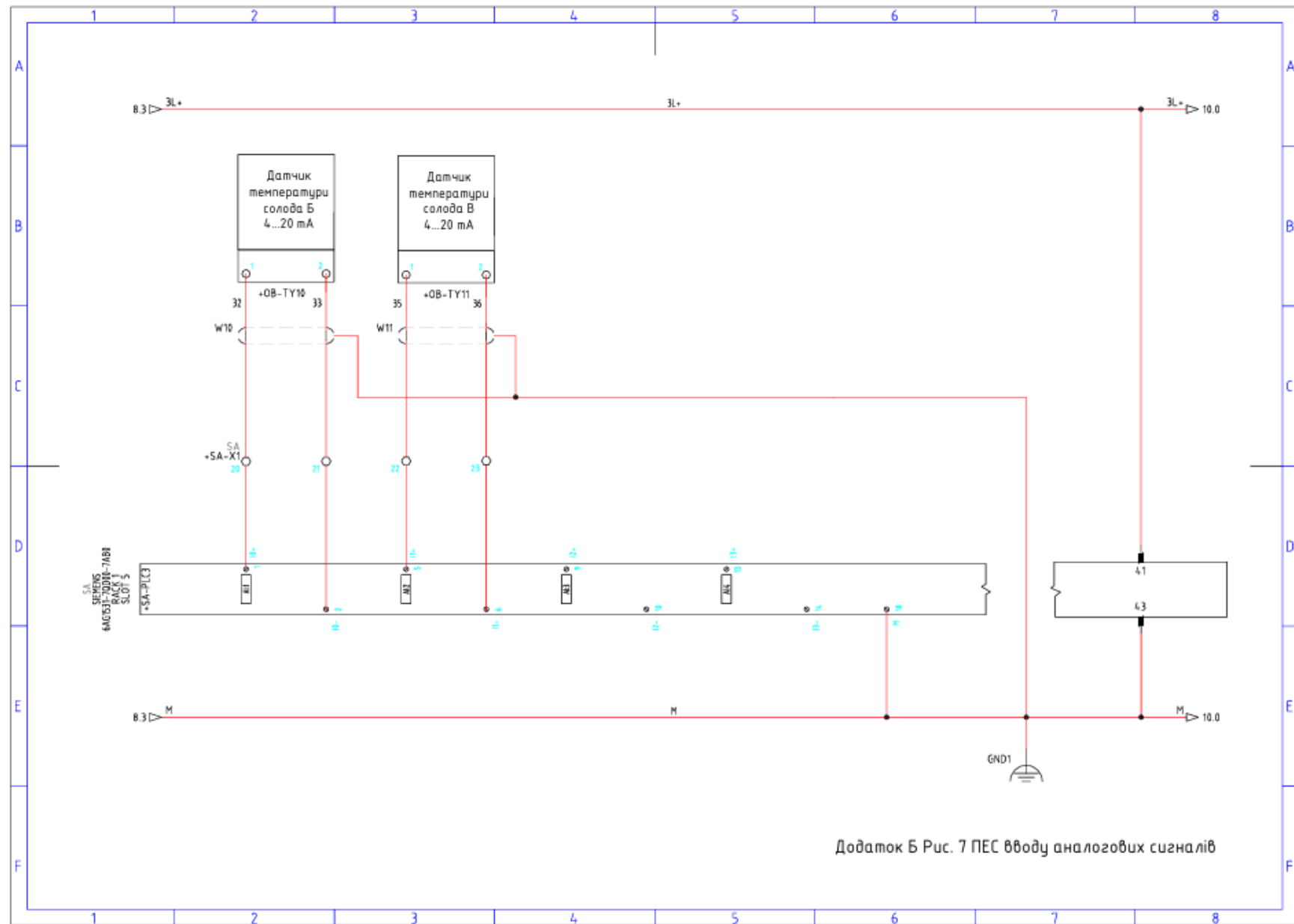


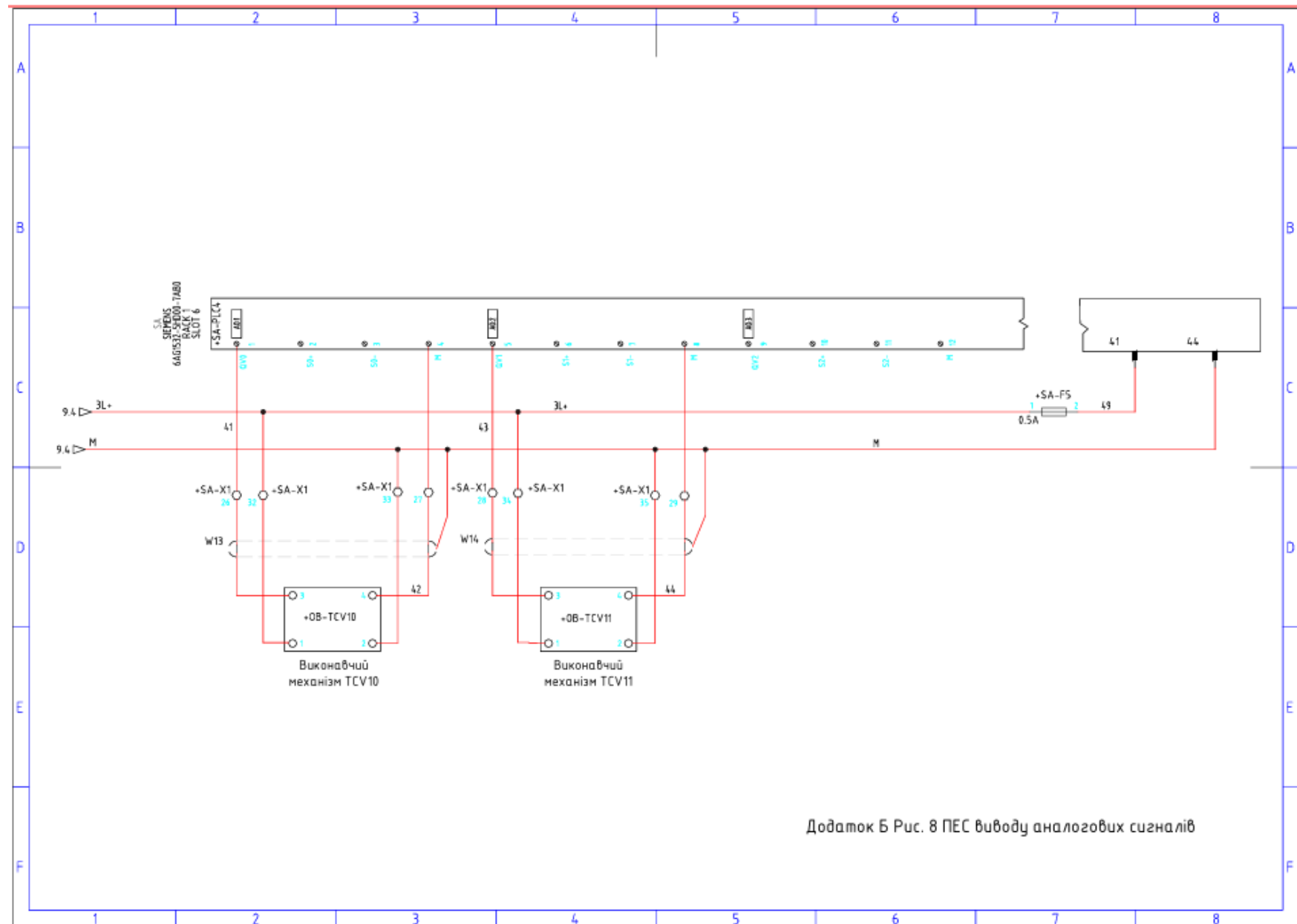












Додаток Б Рис. 8 ПЕС виводу аналогових сигналів