

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет

Кафедра Автоматизації технологічних, електромеханічних і робототехнічних систем



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
на тему: «Автоматизація процесу керування приготуванням фруктово-ягідних
начинок»

Здобувача Терехова М.О.

4 курсу, групи А-41

Керівник: доц. Світий І.М.

Консультант:

доц. Світий І.М.

доц. Левінський В.М.

доц. Степанов М.Т.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

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

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>Штучний інтелект та автоматизація робототехнічних систем</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС

І.М. Світий

«5» січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач **Терехов Михайло Олександрович**

1. Тема роботи **«Автоматизація процесу керування приготуванням фруктових ягідних начинок»**

2. Керівники кваліфікаційної роботи: Світий Іван Миколайович, к.т.н., доцент.

Дубна Сергій Михайлович, старший викладач

Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 743-03 від 31.12.2025 р.

3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи на кафедру **«12» червня 2026 р.**

4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: комплексне кваліфікаційне завдання.

5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):

Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.

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

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

Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів автоматичного логічного керування технологічною ділянкою.

Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.

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

Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.

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

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Світий І.М., 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 « 18 » березня 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 Терехов М.О.

Керівники роботи Світий І.М.

Дубна С.М.

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

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

Здобувач Терехов М.О.

Прізвище, ініціали

Підпис

Реферат

Кваліфікаційна робота бакалавра Терехова Михайла Олександровича «Автоматизація процесу керування приготуванням фруктово-ягідних начинок» викладена на 169 сторінках, кількість таблиць 14, рисунків – 138, додатків – 2, джерел з переліку посилань – 20.

В даній кваліфікаційній роботі розглянуто питання модернізації системи автоматичного керування (САК) технологічного процесу приготуванням фруктово-ягідних начинок. В якості об'єкта дослідження було обрано процес варки неперервної дії. Основною метою роботи є підвищення ефективності роботи установки за рахунок зменшення енерговитрат та втрат від браку готової продукції.

При виконанні роботи було проведено підвищення якості регулювання параметрів процесу за рахунок побудови системи автоматичного регулювання температур нагрівання та охолодження начинок 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 ділянки. 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.

Ключові слова: варка фруктово-ягідних начинок, варочна колонка, темперуюча машина, система автоматичного керування, контролерно-комп'ютерна мережа, SCADA.

Зміст

Перелік умовних позначень.....	9
Вступ.....	10
1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.....	12
1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів.....	12
1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього.....	25
1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК.....	28
1.4 Висновки за розділом.....	29
2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.....	31
2.1 Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання.....	31
2.2 Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта регулювання.....	32
2.3 Ідентифікація моделей збурень об'єкту керування.....	41

2.4 Реалізація математичних моделей у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту-оригіналу.....	48
2.5 Висновки за розділом.....	63
3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.....	64
3.1 Формулювання задач керування, вимог до їх розв'язку і вибір основних принципів побудови автоматичних систем.....	64
3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	67
3.3 Синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності.....	80
3.4 Порівняльний аналіз перехідних процесів у параметрично оптимальних САР базової структури та підвищеної динамічної точності.....	87
3.5 Висновки за розділом.....	89
4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.....	92
4.1 Розробка алгоритмів автоматичного управління нормальним пуском та зупинкою установки.....	92
4.2 Розробка алгоритму автоматичного керування технологічним циклом процесу сушіння солоду.....	94
4.3 Висновки за розділом.....	99
5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.....	100
5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів і місць їх розміщення.....	100

5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	102
5.3 Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу.....	104
5.4 Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	105
5.5 Висновки за розділом.....	110
6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	111
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж.....	111
6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування.....	113
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання.....	121
6.4 Висновки за розділом.....	124
7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	125
7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування.....	125
7.2 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога.....	127
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	127
7.4 Тестування системи керування.....	134
7.5 Висновки за розділом.....	138
8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.....	139
8.1 Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення.....	139

8.2 Розробка схеми автоматизації	142
8.3 Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом	143
8.4 Розробка принципової електричної схеми живлення.....	144
8.5 Розробка принципової схеми мережевих підключень.....	144
8.6 Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК.....	144
8.8 Охорона праці.....	146
8.9 Висновки за розділом.....	150
Висновок.....	152
Перелік джерел.....	155
Додатки.....	158
Додаток А Документація до схеми автоматизації	159
Додаток Б Документація до принципової електричної схеми.....	161

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

Виробництво фруктово-ягідних начинок є важливою ланкою харчових виробництв, оскільки ця продукція широко застосовується у кондитерському, хлібобулочному та молочному виробництві. Сучасні тенденції розвитку галузі вимагають підвищення стабільності якості, безпечності та однорідності начинок, а також оптимізації ресурсів і зменшення людського впливу на технологічні операції. Одним із ключових шляхів досягнення цих цілей є впровадження сучасних систем автоматизації, здатних забезпечити точний контроль параметрів процесу та відтворення технологічних режимів.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення конкурентоздатності підприємства за рахунок підвищення ефективності процесу варки фруктово-ягідних начинок шляхом розробки обґрунтованих технічних рішень зі створення модернізованої САР процесом. Для досягнення поставленої мети визначенні завдання:

- проаналізувати процес варки фруктово-ягідних начинок 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 варки фруктово-ягідних начинок;
- 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 варки фруктових начинок;

- 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

Більшість карамелі виробляють з широким асортиментом начинок. Стандартом передбачені такі види начинок: фруктові, лікерні, медові, помадні, молочні, марципанові, олійноцукрові (охолоджувальні), збивні, горіхові, шоколадні та ін. Вони повинні бути стійкими при зберіганні та не змінювати своїх смакових якостей та консистенції. У зв'язку з цим масова частка цукру, яка надає консервуючу дію при концентрації в водному розчині понад 65-70%, не повинна бути нижчою від цих значень. Така начинка повинна містити достатню кількість антикристалізаторів (патоки або інвертного цукру) для запобігання кристалізації сахарози. Начинка не повинна містити жирів, що швидко псуються, та інших швидкопсувних видів сировини. Вона не повинна взаємодіяти з карамельною масою, не повинна розчиняти її. Консистенція начинки повинна бути однорідна і мати достатню в'язкість.

Фруктові, або, як їх ще називають, фруктово-ягідні, начинки є продуктом, що отримується уварюванням протертої плодової м'якоті з цукром і патокою.

Етапи виробництва фруктово-ягідних начинок.

- 1) Підготовка пюре.
- 2) Шпарка бочок.
- 3) Десульфитація (видалення сірчистої кислоти).
- 4) Протирання.
- 5) Приготування рецептурної суміші.
- 6) Уварювання.

7) Темперування в машині, що темперує.

8) На виробництво.

Технологічна схема приготування фруктово-ягідних начинок наведена на рис. 1.1.

Пюре з бочки 1 за допомогою насоса 2 подається до видаткової ємності 3, звідки надходить у шнековий десульфітатор 4. Десульфітоване пюре потрапляє у приймальну ємність 5, звідки подається у видаткову ємність з мішалкою 6 і на протирання в протибочну машину 7, де пюре протирається через сито діаметром 3 мм, і подається у витратну ємність, звідки за допомогою насоса надходить у змішувач безперервної дії 9. В змішувач з видаткових ємностей також подається цукор та патока. Замість цукру та патоки можна використовувати цукрово-патоковий сироп або сироп із карамельних відходів доцільно застосовувати лише у темні сорти начинки. Рецептурна суміш насосом 10 подається на уварювання в вакуум-начиночний апарат 11, де начинка уварюється до вмісту сухих речовин 82 – 84 % і температури 113 – 115 °С. Обігрів апарату здійснюється за допомогою пари під тиском 600 кПа. Готова начинка через паровіддільника 12 надходить у збірник 13, а потім в темперуючу машину з мішалкою 16. У темперуючій машині начинка охолоджується до температури 70 – 75 °С. І в цей час у начинку вводять смакові та ароматичні речовини.

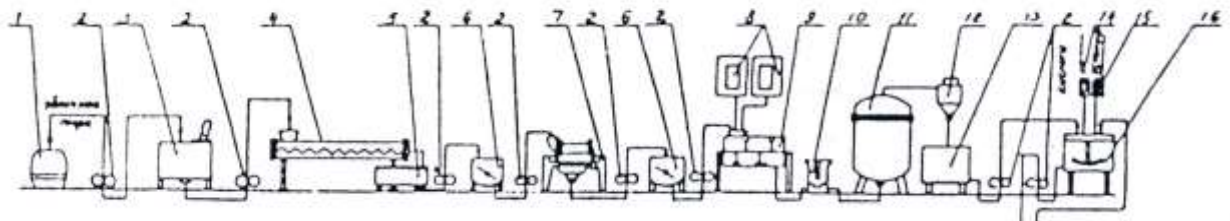


Рис. 1.1 – Технологічна схема приготування фруктово-ягідної начинки

Безпосередньо процес приготування начинки здійснюється шляхом уварювання фруктово-ягідної суміші до належної концентрації. Існують методи періодичного та неперервного уварювання під тиском та під вакуумом. Розглядатимемо процес

начинку через дозатор вводяться ароматизуючі і смакові компоненти рецептури. Відтеперована начинка насосом 7 кільцевим трубопроводом 8 подається на ділянку формування карамелі. Надлишкова начинка повертається до темперуючої машини.

В процесі уварювання начинки, окрім видалення вологи, відбувається хімічна зміна сухого залишку. Особливе значення мають такі процеси. Під впливом кислоти, що міститься в фруктовій м'якоті, протікає інтенсивний процес гідролізу сахарози. Однак при уварюванні фруктової начинки помітне зростання масової долі редукуючих речовин не має такого негативного значення, як при варці карамельної маси. Для запобігання зацукрювання начинки при зберіганні в ній має бути не менше 30% редукуючих речовин. Слід враховувати, що збільшення цього показника до 60% і більше може призвести до розчинення карамельної оболонки у виготовленій карамелі. Окрім того, велике підвищення масової долі редукуючих речовин знижує в'язкість начинки, а це ускладнює її використання. При уварюванні начинки завершується процес видалення діоксиду сірки, остаточна кількість якого в карамелі з фруктовою начинкою не має перевищувати 20 мг на 1 кг. При уварюванні начинка стерилізується, тобто в ній знищуються мікроорганізми. При уварюванні начинки, особливо без вакууму, спостерігається її потемніння. Цей процес може бути наслідком утворення меланоїдинових речовин в результаті реакції азотистих з'єднань пюре з цукром. При уварюванні протікає процес часткового руйнування пектинових речовин, що знижує в'язкість начинки.

Перед подачею фруктової начинки на ділянку формування карамелі вона має бути відтеперована при 58...70°C.

Апаратна реалізація процесу може здійснюватися в змійовиковому вакуум-апараті (рис. 1.3).

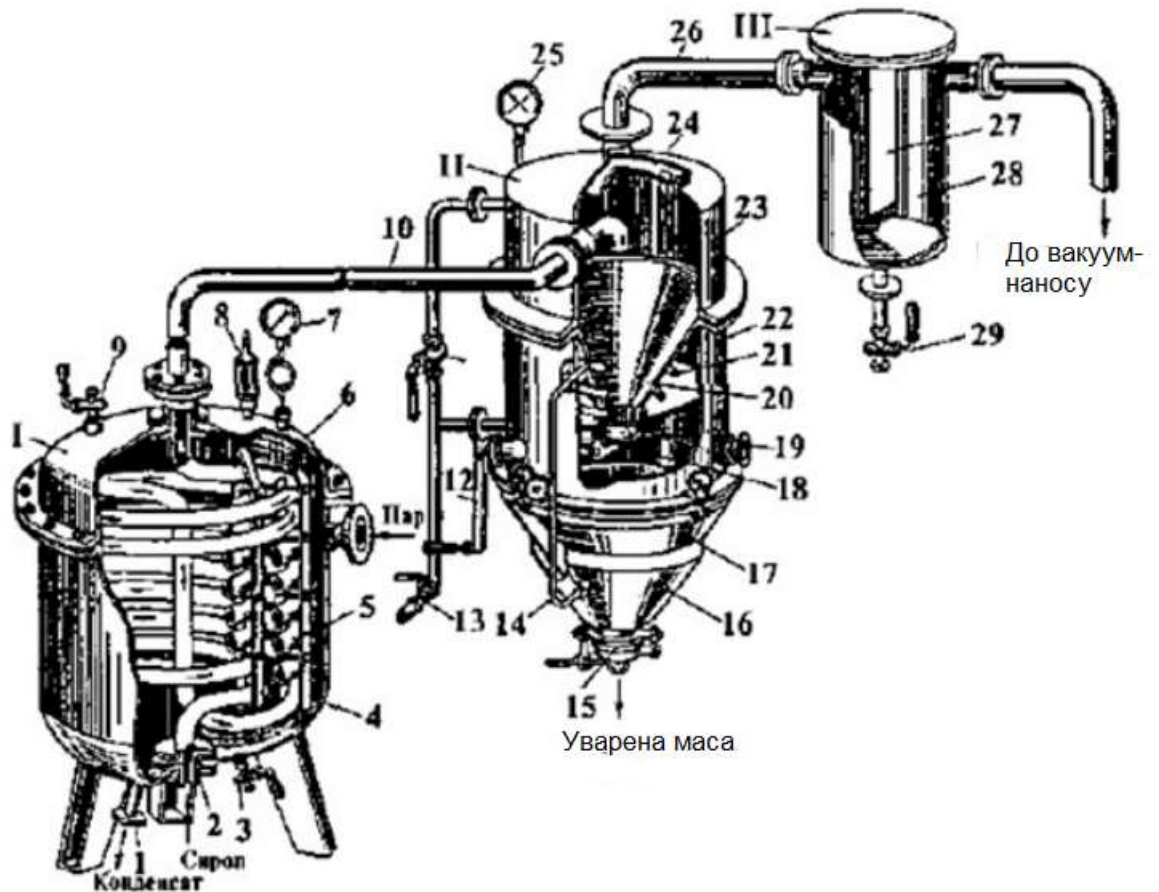


Рис. 1.23 – Конструкція змійовикового вакуум-апарату

Змійовиковий вакуум-апарат з ручним вивантаженням маси (рис. 1.3) складається з трьох частин: гріючої I, випарної II і сепаратора-пастки III. Гріюча та випарна частини з'єднані між собою трубопроводом. Пастку встановлюють на трубопроводі, що з'єднує випарну камеру з конденсатором змішування та вакуум-насосом.

Гріюча частина I являє собою сталевий циліндричний корпус 4 з привареним до нього штампованим сталевим днищем в нижній частині і знімною кришкою 6. Усередині корпусу змонтований мідний змійовик 5, що має два ряди витків, з'єднаних між собою послідовно. Нижній кінець змійовика приєднаний до трубопроводу від сиропного плунжерного насоса, що живить вакуум-апарат, а верхній - до з'єднувального трубопроводу 10, що йде у випарну частину вакуум-апарата, яка у свою чергу з'єднується

трубопроводом з конденсатором змішування поршневого, мокроповітряного вакуум-насоса.

У верхній частині корпусу 4 гріючої частини апарату розташований штуцер для подачі гріючої пари: на кришці змонтовані манометр 7, запобіжний клапан 8 і кран 9 для випуску повітря. У днищі апарата встановлений штуцер 2 для подачі сиропу, штуцер 1 для спуску конденсату та кран 3 для продування апарату.

Випарна частина II вакуум-апарата складається з двох сталевих обітниць - верхньої 23 і нижньої 22 - і нижнього сталевого конуса 17, з'єднаних між собою фланцями та відкидними болтами. Між обічайками розташована конусна мірна чаша 20, горло-вина якої перекривається клапаном 18. Конусна чаша, порожнина верхньої обічайки і сталева сферична кришка утворюють верхню вакуум-камеру місткістю 140 л. Для запобігання застигання маси, що уварюється, на стінках конусної чаші 20 з зовнішнього боку змонтований змійовик 21, в якому циркулює гріюча пара, що подається через трубку 14.

Верхній внутрішній клапан 18, що відкривається і закривається за допомогою рукоятки 12, служить для забезпечення безперервності процесу уварювання (при вивантаженні готової маси він перекритий) і для випуску з верхньої камери нижній приймальний конус карамельної маси, що накопичується під час розвантаження апарата.

На верхній обічайці вакуум-камери з боку робочого місця змонтований вакуум 25 для контролю за розрідженням.

Нижній конус 17 вакуум-камери для запобігання застигання підготовленої до вивантаження карамельної маси на 3/4 висоти омивається парою, що подається в парову рубашку 16 по трубці 14. Повітря з рубашки 16 випускається через повітряний кран, а готова карамельна маса – через зовнішній клапан 15 з ручкою. За виходом маси можна спостерігати через оглядове скло 19 в нижній приймальній частині вакуум-камери. Для сполучення верхньої вакуум-камери з нижнім приймачем та нижнього приймача з атмосферою служить сполучна трубка з кранами 11 та 13.

Випарна частина вакуум-апарата кріпиться на тягах до стелі або кронштейнах до стіни.

Змійовикові вакуумні апарати цього типу зручні для установки в потокових лініях виробництва карамелі і не вимагають спорудження спеціальних майданчиків для монтажу гріючої частини апарату.

Гріюча частина вакуум-апарата разом з плунжерним сиропним насосом і вакуум-насосом може бути встановлена на деякій відстані від випарної частини вакуум-апарата або в іншому приміщенні, що забезпечує кращий санітарний стан цеху.

Сепаратор-пастка ІІІ призначена для затримування частинок карамельної маси, що несуть вторинною парою, являє собою циліндричний сталевий посуд 28 з плоскою кришкою і перегородкою 27 всередині, розташованої навпроти вхідного патрубку. Затримані частинки карамельної маси відводяться через нижній патрубок пастки з краном 29 для подальшої переробки.

Технічні характеристики змійовикового вакуум-апарату

Продуктивність: до 800 кг/год

Площа поверхні нагрівання змійовикового апарату: 7,5 м²

Тиск пари: 0,45 МПа

Середня вологість фруктової суміші, що надходить: 48%

Середня вологість увареної начинки: 18,5%

Температура увареної начинки: 115 °С

Час уварювання до 3 хв.

Витрати пари на 1 кг начинки: 0,8 кг

Температура охолодженої начинки: 70 – 75°С

Температура охолоджуючої води: до 25°С

Витрати води: 2 м³/год

Потужність електродвигунів: 5 кВт.

$u_{п}$ – положення регулюючого органу подачі гріючої пари;
 $F_{п}$ – витрати гріючої пари в паропроводі;
 $T_{н}$ – температура нагрівання начинки;
 $F_{н}$ – витрати нагрітої начинки;
 $T_{к}$ – температура конденсату;
 $F_{к}$ – витрати конденсату;
 $T_{в}$ – температура охолоджуючої води;
 $P_{в}$ – тиск охолоджуючої води;
 $F_{в}$ – витрати охолоджуючої води;
 $u_{в}$ – положення регулюючого органу подачі охолоджуючої води;
 $F_{вп}$ – витрати вторинної пари;
 $T_{вв}$ – температура відпрацьованої води;
 $F_{вв}$ – витрати відпрацьованої води;
 $F_{фн}$ – витрати фруктово-ягідної начинки;
 $L_{фн}$ – рівень фруктово-ягідної начинки;
 $T_{фн}$ – температура охолодження начинки;
 $Q_{фн}$ – концентрація фруктово-ягідної начинки;
 U_e – напруга в електромережі;
 f – частота в електромережі;
 N_e – паспортна потужність електродвигунів;
 F_e – витрати електроенергії;
 I – споживаний струм електромережі.

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 виробництва фруктово-ягідної начинки такими параметрами є:

$T_{н}$ – температура нагрівання начинки;

$T_{фн}$ – температура охолодження начинки;

$Q_{фн}$ – концентрація фруктово-ягідної начинки.

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Для технологічної установки виробництва фруктово-ягідної начинки такими параметрами є:

$L_{фн}$ – рівень фруктово-ягідної начинки;

I – споживаний струм електромережі.

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 виробництва фруктово-ягідної начинки такими параметрами є:

$F_{п}$ – витрати гріючої пари в паропроводі;

$F_{н}$ – витрати нагрітої начинки;

$T_{к}$ – температура конденсату;

$F_{к}$ – витрати конденсату;

$F_{в}$ – витрати охолоджуючої води;

$T_{вв}$ – температура відпрацьованої води;

$F_{вв}$ – витрати відпрацьованої води;

$F_{е}$ – витрати електроенергії.

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 начинки нижче гранично-припустимих значень може призвести до недосягнення регламентованої

концентрації продукту, а перевищення температури верхнього гранично припустимого значення може призвести до перевищення концентрацією начинки гранично припустимого значення а далі до потемніння начинки. В обох випадках порушення регламенту веде до погіршення якості готового продукту і до збільшення виходу браку.

Відхилення температури охолодження начинки нижче гранично припустимих значень може призвести до зависокої в'язкості начинки, а перевищення температури верхнього гранично припустимого значення може призвести до занижкої в'язкості начинки. В обох випадках порушення регламенту веде до погіршення якості готового продукту і до збільшення виходу браку.

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від номінальних прийнято розділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі та короточасні 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	Короточасні	
				величина	величина	час, сек
Температура нагрівання начинки	Тн	°C	117	±0,5	±2	100
Температура охолодження начинки	Тфн	°C	72	±0,5	±2	100

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 виробництва фруктово-ягідної начинки до цієї групи параметрів віднесемо:

- Р_{фс} – витрати фруктово-ягідної суміші;
- Т_{фс} – температура фруктово-ягідної суміші;
- Q_{фс} – концентрація фруктово-ягідної суміші;
- Р_{фн} – витрати фруктово-ягідної начинки.

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. Для технологічного процесу виробництва фруктово-ягідної начинки до цієї групи параметрів віднесемо:

- Р_п – тиск гріючої пари в паропроводі;
- Т_в – температура охолоджуючої води;
- Р_в – тиск охолоджуючої води;
- Р_{вп} – витрати вторинної пари;
- U_е – напруга в електромережі;
- f – частота в електромережі.

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

- u_п – положення регулюючого органу подачі гріючої пари;
- u_в – положення регулюючого органу подачі охолоджуючої води;

N_e – паспортна потужність електродвигунів.

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). 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.

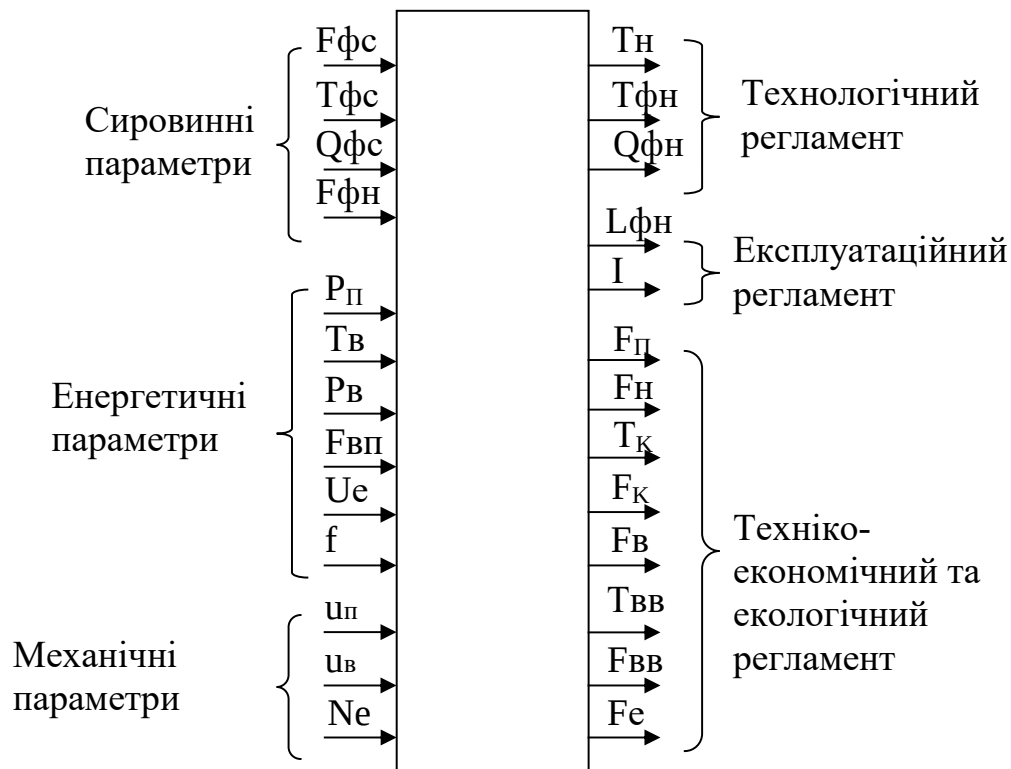


Рис. 1.5 – Параметрична схема процесу приготування фруктово-ягідної начинки

Щоб прослідкувати взаємозв'язок між параметрами процесу, представимо параметричну схему процесу виробництва фруктово-ягідної

начинки, як двостадійного процесу.

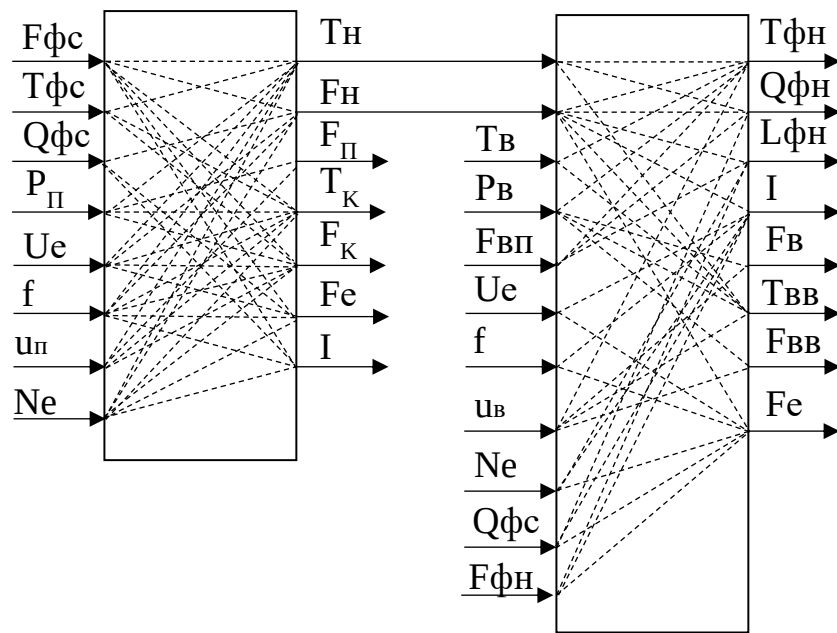


Рис. 1.6 – Параметрична схема процесу приготування фруктово-ягідної начинки

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

Температура нагрівання начинки T_n вимагає регулювання, оскільки його підтримання є визначальним у підведенні належної кількості тепла до фруктово-ягідної суміші, а значить і до формування кінцевої концентрації готового продукту при дотриманні продуктивності установки. До того ж, на цей параметр суттєвий вплив мають початкові параметри фруктово-ягідної суміші, як сировини, та тиск гріючої пари, оскільки установка живиться парою від загальної котельні підприємства. Для підтримання цього параметра в якості керуючої дії використовується дроселювання потоку пари u_n . Регулюється цей параметр автоматично з можливістю переведення в дистанційний режим зі щита керування. В якості засобу отримання інформації

про температуру нагрівання начинки використовують. Для вимірювання температури начинки використовується датчик THTS-1PA541506MZ.

Температура охолодження начинки $T_{\text{фн}}$ вимагає регулювання, оскільки цей параметр визначає температуру готового продукту та, нарівні з концентрацією, кінцеву густину начинки, що визначає якість карамельного батона. На цей параметр суттєвий вплив мають температура нагрівання начинки та параметри охолоджуючої води. Для підтримання цього параметра в якості керуючої дії використовується дроселювання потоку охолоджуючої води до темперуючої машини $ц_в$. Регулюється цей параметр автоматично з можливістю переведення в дистанційний режим зі щита керування.

Концентрація начинки $Q_{\text{фн}}$ є ключовим показником якості готового продукту, на який впливає низка збурень, що визначають температуру нагрівання начинки та продуктивність установки. Через дороговизну засобів вимірювання контроль цього показника не здійснюється в потоці і регулюється через підтримання температури нагрівання начинки та продуктивності установки. дроселювання потоку пари $ц_п$. На виробництві цей параметр підтримують вручну.

Рівень начинки в темперуючій машині $L_{\text{фн}}$ вимагає регулювання, оскільки від підтримання цього параметра залежить режим охолодження начинки. Залежить цей параметр від притоку гарячої начинки до темперуючої машини та відбору готового продукту з неї. До того ж, як за притоком, так і за відтоком начинки темперуюча машина як об'єкт керування за рівнем властивості самовирівнювання не має. Тому регулювання цього параметра для темперуючої машини є обов'язковим. В якості керуючої дії для $L_{\text{фн}}$ використовується вплив на гвинтовий насос, що забезпечує розвантаження темперуючої машини. На виробництві цей параметр підтримують вручну.

Щит є місцевим постом управління, розташовується поруч з установкою і обслуговується виробничим персоналом. Місцеві щити, як правило, є шафові. Шафові щити доцільно застосовують у виробничих приміщеннях при необхідності розміщення всередині щита допоміжної апаратури (реле, джерел живлення та інше); для захисту обслуговуючого персоналу від дотиків до

струмоведучих частин і збірок затискачів. Для розміщення засобів автоматизації даної установки застосовується шафова щит.

При розміщенні апаратури на фасаді щитів треба враховувати глибину частини приладів і апаратів, які виступають всередину щита, розташування штуцерів і сальників для введення електропроводки; крім того, потрібно забезпечувати зручний доступ до затискачів приладів і можливість відкривання кришок на стінках їх корпусів. Найбільш часто використовувані органи управління треба розміщувати в найбільш доступному і зручному для оператора місці; керівні органи однієї системи управління рекомендується групувати в одному місці; рамки з написами, що показують призначення апаратів і вироблені дії («включено», «відключено», «автоматичне», «ручне»), повинні перебувати в безпосередній близькості від органів управління.

Електроапаратуру і настановні вироби всередині щитів розміщують і компонують з урахуванням конструктивних особливостей цих виробів, зручність монтажу та експлуатації, приймаючи до уваги допустимі поля монтажу. Розміри цих полів забезпечують установку уніфікованих елементів для внутрішньощитового монтажу (рейок, плат, кронштейн, кутників). Установка і кріплення апаратури, засобів автоматизації і монтажних виробів в проектованому щиті здійснюють за допомогою перфорованих С-образних рейок. Компонувати апаратуру треба за допомогою типових монтажних креслень.

Для даного ТП був обраний монтажний шафа МКН з розмірами 600х600х250. На кресленні зліва зображена лицьова панель щита, на якій знаходяться блоки ручного управління світлодіодні лампочки, а також перемикачі та кнопки.

За допомогою блоків ручного управління оператор має змогу місцевого регулювання контурами. Блок ручного управління БРУ-7 призначений для перемикання ланцюгів управління виконавчими пристроями та механізмами, індикації режимів робіт, вимірювання та індикації одного технологічного параметра.

Обробкою у режимі реального часу поточної інформації від датчиків технологічних та експлуатаційних параметрів, формує (розраховує за заданими алгоритмами) керуючі дії та виводить їх на виконавчі механізми програмований логічний контролер Siemens SimaticS7-300.

Для реалізації системи управління в модулях ПЗО контролера повинні бути передбачені: 5 аналогових входів, 14 дискретних входів і 11 дискретних виходів. Виходячи із сформованої таблиці та середньої складності алгоритмів керування, для реалізації системи управління скористаємося контролером CPU 314 з модулями ПЗО SM 331 – AI6, AO2, SM 321 - DI6, SM 322 - DO6.

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 варки фруктово-ягідної начинки основним джерелом підвищення ефективності процесу є зменшення енерговитрат на процес. Порушення технологічного регламенту на температурні режими нагрівання та охолодження начинки 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 температур нагрівання начинки	Зменшення витрат пари на процес на 10% Зниження браку готової продукції на 5%

Витрати води Вихід браку готової продукції	Стабілізація температур охолодження начинки	Зменшення витрат води на процес на 5% Зниження браку готової продукції на 5%
---	--	---

Економічною метою кваліфікаційної роботи є підвищення конкурентоспроможності підприємства за рахунок зменшення собівартості продукції і підвищення рівня його рентабельності при впровадженні модернізованої системи управління.

Система керування варкою фруктово-ягідної начинки 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 варки фруктово-ягідної начинки є одним з ключових процесів виробництва начинки. Підвищення ефективності саме цього процесу здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому саме процес варки начинки і 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 начинки модернізованої системи керування на базі мікропроцесорної техніки, яка буде ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися: зниження витрат пари, води та виходу браку готової продукції. Для цього слід буде поліпшити якість регулювання температур нагрівання і охолодження начинки, 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.

Для процесу виробництва фруктово-ягідної начинки в якості регульованих координати доцільно обрати температури нагрівання та охолодження начинки T_n та T_{fn} .

Необхідною умовою вирішення задач керування є наявність управляючих дій, що повинні бути вхідними змінними (координатами) ОК. Для задач регулювання, такими управляючими діями, насамперед, є дії, що цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме – положення регулювальних органів. Кількість управляючих дій повинно бути рівним кількості регульованих змінних.

Для процесу виробництва фруктово-ягідної начинки до керуючих дій доцільно віднести положення регулювального органу, що дроселює потік пари на нагрівач u_n та охолоджуючої води на темперуючу машину u_v .

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

Для процесу виробництва фруктово-ягідної начинки збурень, контроль яких суттєво б підвищив якість регулювання температур, виявлено не було. Тому всі вхідні 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 виробництва фруктово-ягідної начинки наведена на рис. 2.1.

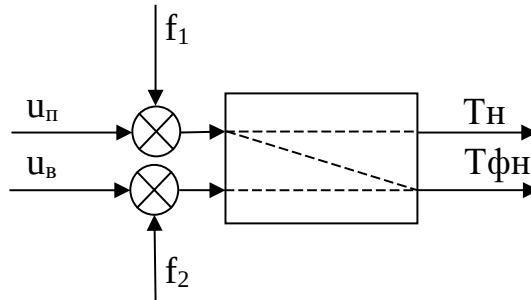


Рис. 2.1 – Структурна схеми об'єкту регулювання

На рисунку:

T_H – температура нагрівання начинки, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{\text{ФН}}$ – температура охолодження начинки, $^{\circ}\text{C}$;

$u_{\text{П}}$ – положення регулюючого органу подачі гріючої пари, %х.р.о.;

$u_{\text{В}}$ – положення регулюючого органу подачі охолоджуючої води, %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 апіорних даних, виходячи з фізичної суті об'єкту, оцінити, нехай попередньо, властивості каналів, моделі яких підлягають ідентифікації.

Кожен канал ОК має властивість самовирівнювання. Збільшення керуючої дії $u_{\text{П}}$ (положення регулюючого органу подачі пари) призведе до збільшення температури нагрівання начинки T_H та до збільшення температури

охолодження начинки. Збільшення керуючої дії u_v (дроселювання потоку води) призведе до зменшення температури охолодження начинки T_{fn} .

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

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 $u_n = 60 \% \text{х.р.о.}$ та $u_v = 60 \% \text{х.р.о.}$ будуть відповідати значення регульованих координат $T_n = 117^\circ\text{C}$, $T_{fn} = 72^\circ\text{C}$.

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

3. Змінимо управляючу дію u_n 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_n у вихідний стан, чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів.

6. Змінимо управляючу дію u_v 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. – 2.4.

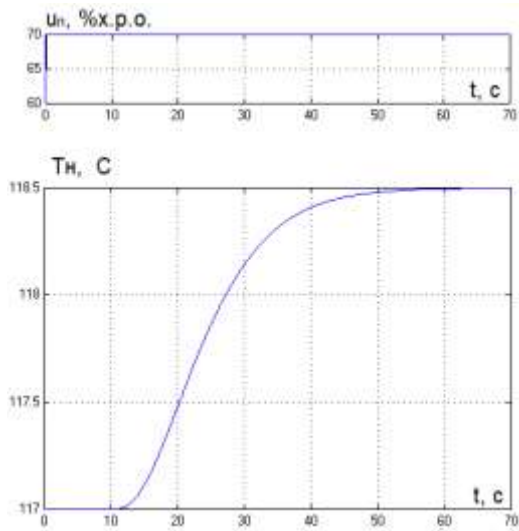


Рис. 2.2 – Результат активного експерименту за каналом «u_n – T_n»

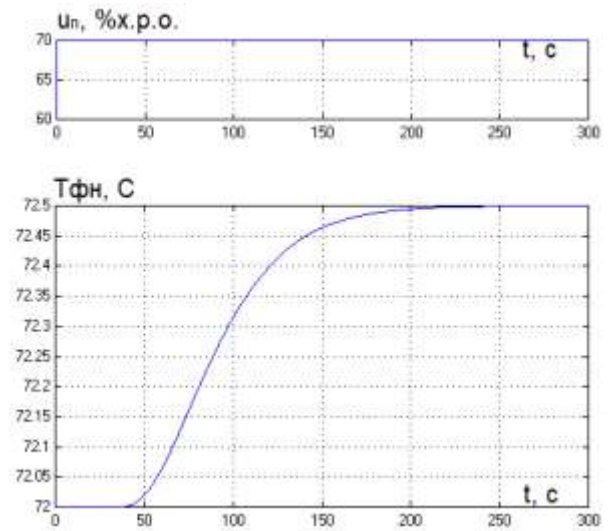


Рис. 2.3 – Результат активного експерименту за каналом «u_n – T_{фн}»

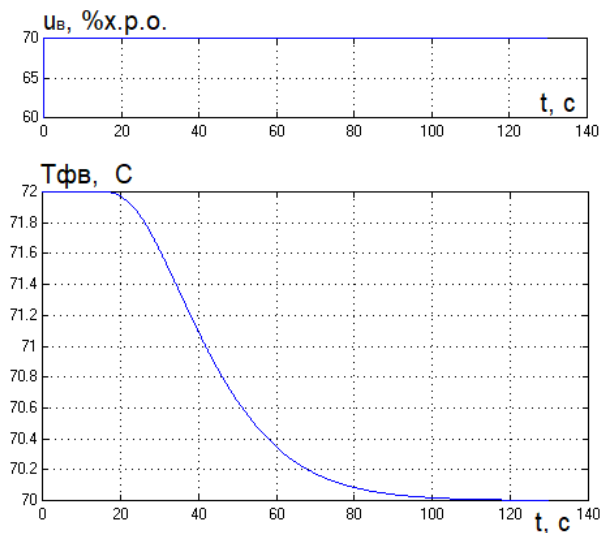


Рис. 2.4 – Результат активного експерименту за каналом «u_b – T_{фн}»

За результатами активного експерименту (рис. 2.1 – 2.3) 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 « $u_{\Pi} - T_H$ »

$$k = \Delta T_H / \Delta u_{\Pi} = (118,5 - 117) / (70 - 60) = 1,5 / 10 = 0,15 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 20,3 - 28,1) / 2 = 16,4 \text{ c}$$

$$t_{0,33} = 20,3 \text{ c}$$

$$t_{0,7} = 28,1 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (28,1 - 16,4) / 1,2 = 9,75 \text{ c}$$

$$W_{u_{\Pi}-T_H}^O(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-16,4p}}{9,75p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 17,6 - 28,1) / 2 = 12,4 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (28,1 - 12,4) / 2,4 = 6,5 \text{ c}$$

$$t_{0,19} = 17,6 \text{ c}$$

$$W_{u_{\Pi}-T_H}^O(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-12,4p}}{(6,5p + 1)^2}$$

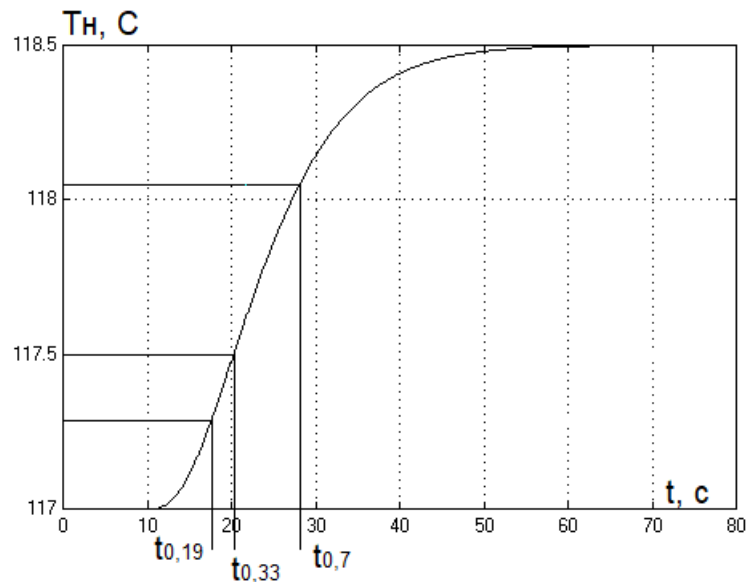


Рис. 2.5 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом " $u_{\Pi} - T_H$ "

Канал « $u_{\Pi} - T_{фн}$ »

$$k = \Delta T_{фн} / \Delta u_{\Pi} = (72,5 - 72) / (70 - 60) = 0,5 / 10 = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

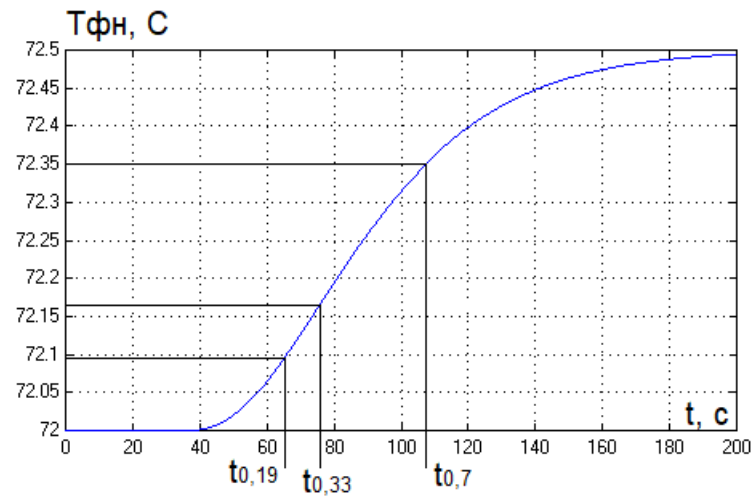


Рис. 2.6 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом " $u_{п}$ – $T_{фн}$ "

Модель 1-го порядку

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

$$t_{0,33} = 75,6 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 107,3 \text{ с}$$

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

$$W_{u_{п}-T_{фн}}^O(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-59,8p}}{39,6p + 1}$$

Модель 2-го порядку

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

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

$$t_{0,19} = 65 \text{ с}$$

$$W_{u_{п}-T_{фн}}^O(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-43,9p}}{(26,4p + 1)^2}$$

Канал « $u_{в}$ – $T_{фн}$ »

$$k = \Delta T_{фн} / \Delta u_{в} = (70 - 72) / (70 - 60) = -2 / 10 = -0,2 \text{ } ^\circ\text{C} / \%x.p.o.$$

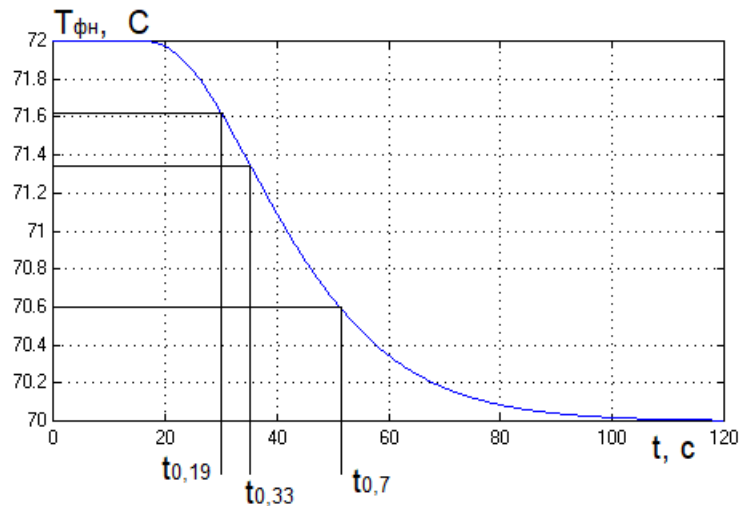


Рис. 2.7 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом " u_B – $T_{фн}$ "

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 35,3 - 51,2) / 2 = 27,4 \text{ c}$$

$$t_{0,33} = 35,3 \text{ c}$$

$$t_{0,7} = 51,2 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (51,2 - 27,4) / 1,2 = 19,8 \text{ c}$$

$$W_{u_B - T_{фн}}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-27,4p}}{19,8p + 1}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 30,1 - 51,2) / 2 = 19,6 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (51,2 - 19,6) / 2,4 = 13,2 \text{ c}$$

$$t_{0,19} = 30,1 \text{ c}$$

$$W_{u_B - T_{фн}}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-19,6p}}{(13,2p + 1)^2}$$

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

Статичні властивості ОК описуються статичними характеристиками (моделями) каналів. Вони відбивають взаємозв'язок між вхідними і вихідними

координатами (перемінними) каналів ОК в статично сталих режимах, тобто після загасання всіх перехідних складових цих перемінних.

Кінцевим результатом ідентифікації математичної моделі статичної 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 статичної можуть бути пасивному або активними (як і при отриманні моделей динаміки). Для отримання моделей статичної 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. 2.8.

Табл. 2.1 – Результати експерименту для визначення статичних характеристик ОК

№ експерименту	$u_n, \% \text{х.р.о.}$	$u_b, \% \text{х.р.о.}$	$T_n, ^\circ\text{C}$	$T_{fn}, ^\circ\text{C}$
1	60	60	117	72
2	70	60	118,5	72,5
3	80	60	120	73
4	50	60	115,5	71,5
5	40	60	114	71
6	60	70	117	70
7	60	80	117	68
8	60	50	117	74
9	60	40	117	76

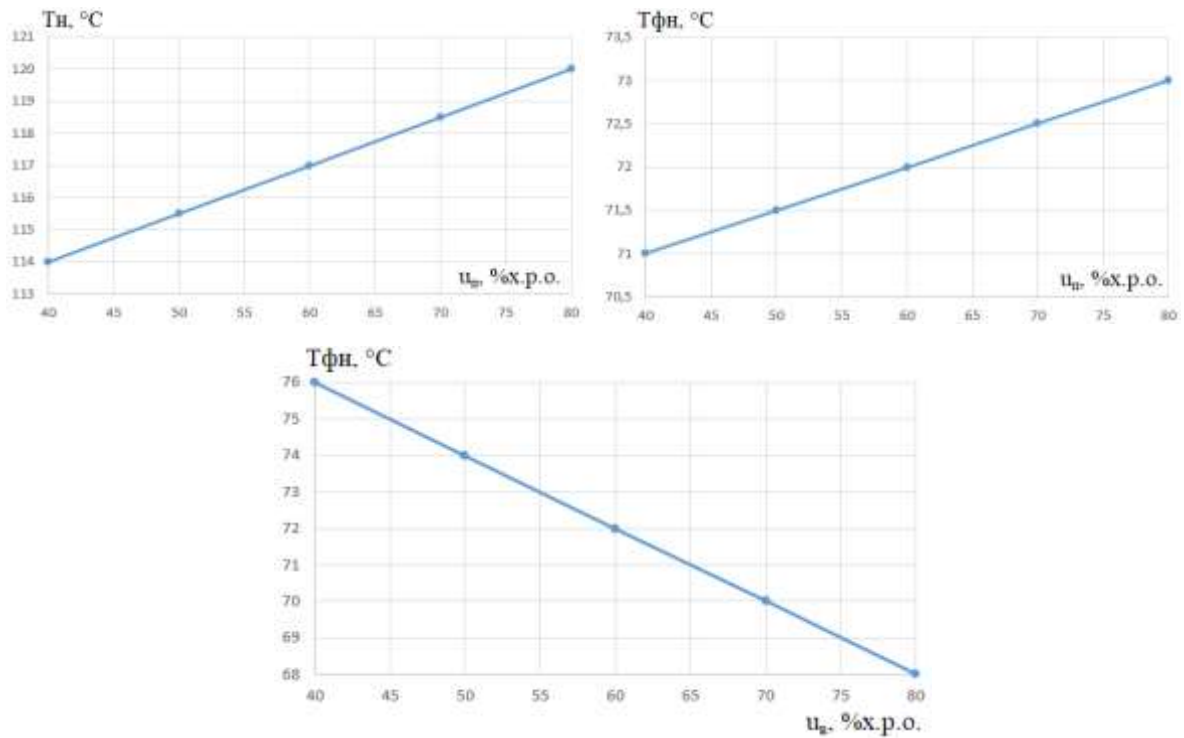


Рис. 2.8 – Статичні характеристики ОК

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.

$$T_H = a_1 \cdot u_H + a_0$$

$$T_{фн} = b_1 \cdot u_H + b_2 \cdot u_B + b_0$$

$$a_1 = \Delta T_H / \Delta u_H = (118,5 - 117) / (70 - 60) = 1,5 / 10 = 0,15^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$$

$$a_0 = T_H - a_1 \cdot u_H = 117 - 0,15 \cdot 60 = 14 + 12 = 108^\circ\text{C}$$

$$\mathbf{T_H = 0,15 \cdot u_H + 108}$$

$$b_1 = \Delta T_{фн} / \Delta u_H = (72,5 - 72) / (70 - 60) = 0,5 / 10 = 0,05^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$$

$$b_2 = \Delta T_{фн} / \Delta u_B = (70 - 72) / (70 - 60) = - 2 / 10 = - 0,2^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$$

$$b_0 = T_{фн} - b_1 \cdot u_H - b_2 \cdot u_B = 72 - 0,05 \cdot 60 + 0,2 \cdot 60 = 72 - 3 + 12 = 81^\circ\text{C}$$

$$\mathbf{T_{фн} = 0,05 \cdot u_H - 0,2 \cdot u_B + 81}$$

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 %х.р.о., а діапазон зміни неконтрольованих збурень може становити приблизно 10...15% від діапазону зміни управляючої дії, тобто становить приблизно 10...15 %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 $\tilde{f}^{\text{III}}(t)$.

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_{II} цих складових і τ_0 , можна провести поділ сигналу:

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

- якщо для складової $T_n > 40\tau_0$, 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.

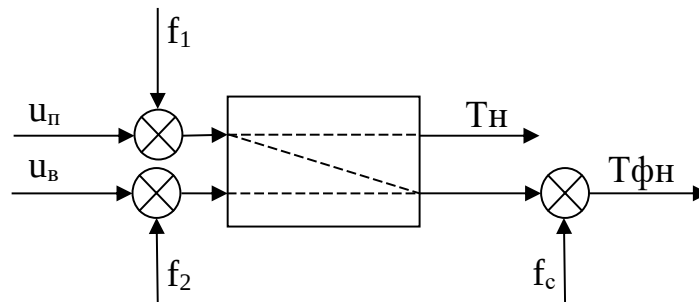


Рис. 2.9 – Структурна схема додання координатних збурень

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 – 6

$T_{фн} (u = 0\% \text{х.р.о.}) = 90^\circ\text{C}$

$T_{фн}^{3ДН} = 72^\circ\text{C}$

$\tau_{u_b - T_{фн}} = 27,4 \text{ с.}$

Результати генерації випадкового процесу, що відповідає реакції ОК на неконтрольовані збурення, наведені на рис. 2.10.

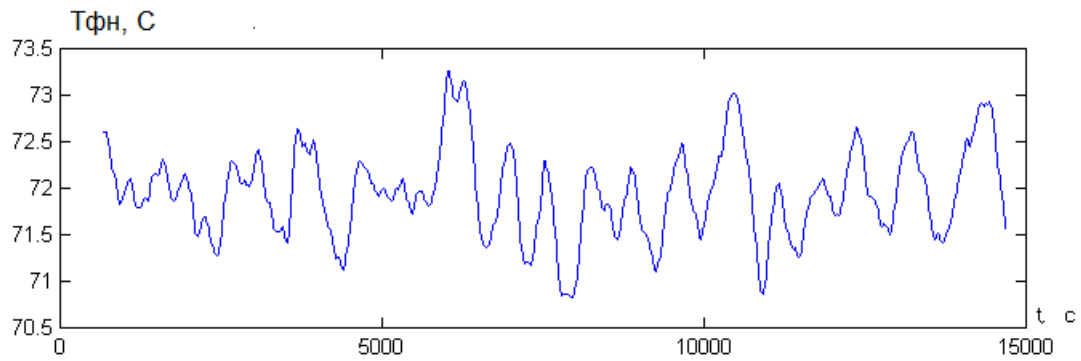


Рис. 2.10 – Результати генерації випадкового процесу за Тфн

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

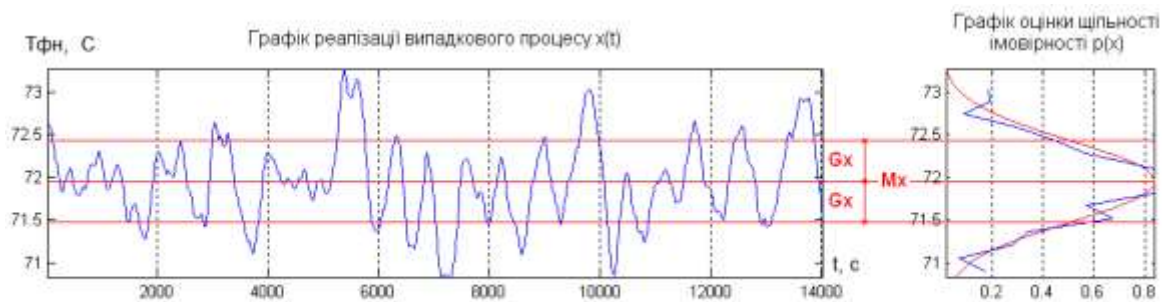
$$R_f(\tau_k) = D_f \cdot e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \cos(\beta \cdot |\tau_k|)$$

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

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 $x(t)$:	
ВІХОДИ:	
Інтервал часу генерації ВП	$T_p = 14026.8 \text{ с}$
Крок квантування ВП за часом генерації	$\Delta t = 13.7 \text{ с}$
Кількість точок згенерованої реалізації ВП	$N = 1024$
ОТРИМАНІ В РЕЗУЛЬТАТІ ОЦІНЮВАННЯ	
Оцінка математичного очікування	$M_x = 71.95$
Оцінка дисперсії	$G_x = 0.2254$
Оцінка середньоквадратичного відхилення	$G_x = 0.4747$
Оцінка середньоквадратичного періоду	$T_{схл} = 652.5 \text{ с}$
Кількість середньоквадратичних періодів в згенерованій реалізації ВП (мінімум 25...50)	$N_{Тсхл} = 21.5$

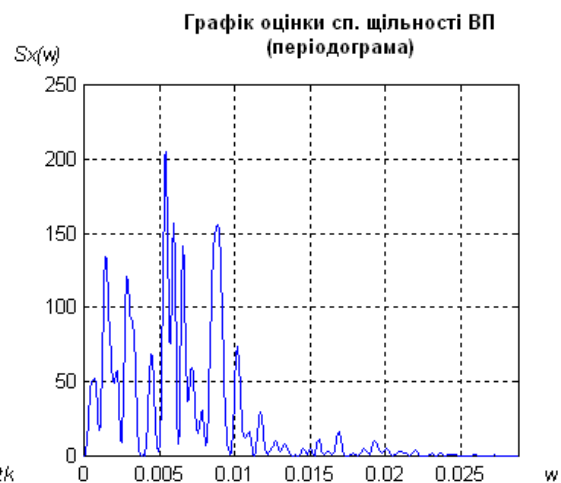
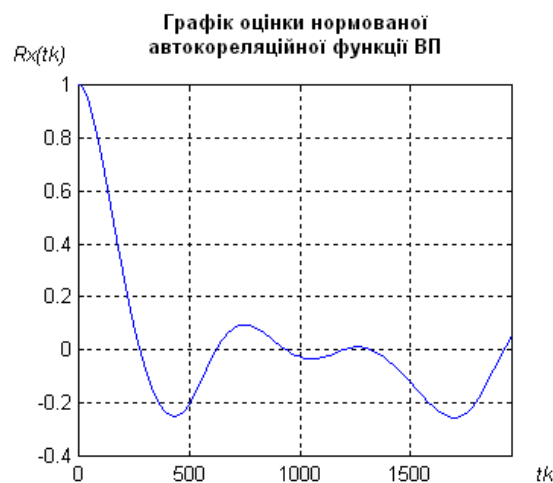


Рис. 2.11 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

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

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

Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.12, моделі №6 – на рис. 2.13, а підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.14.

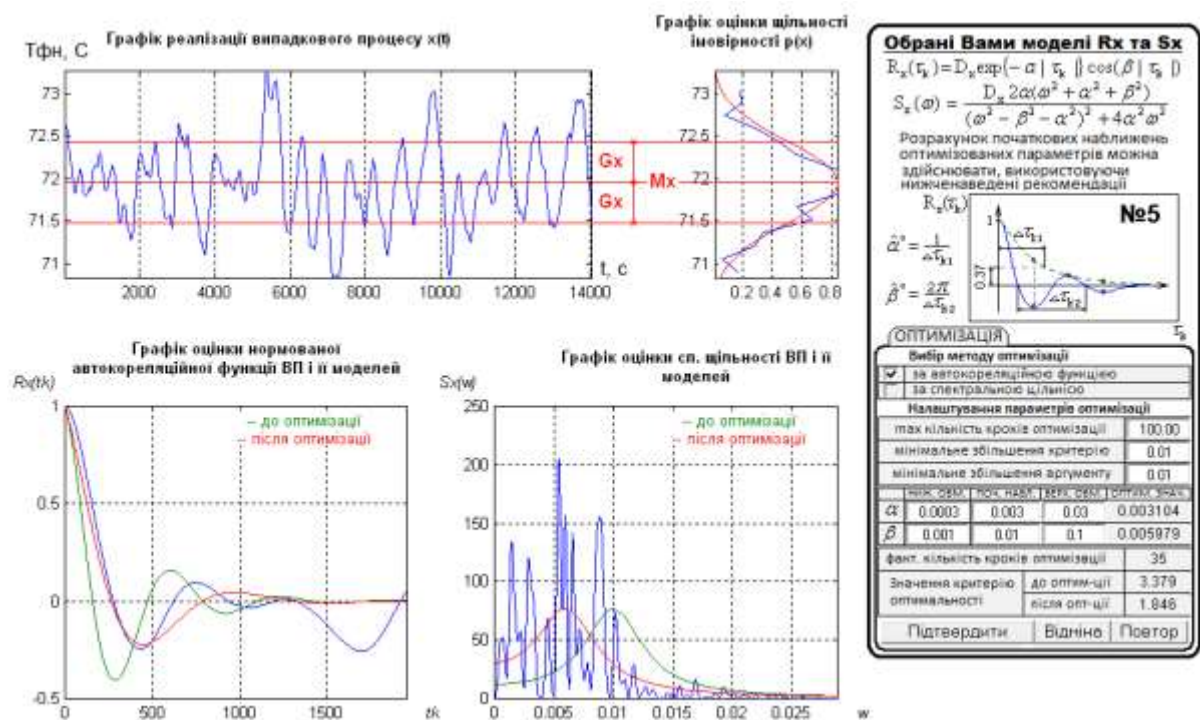


Рис. 2.12 – Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень

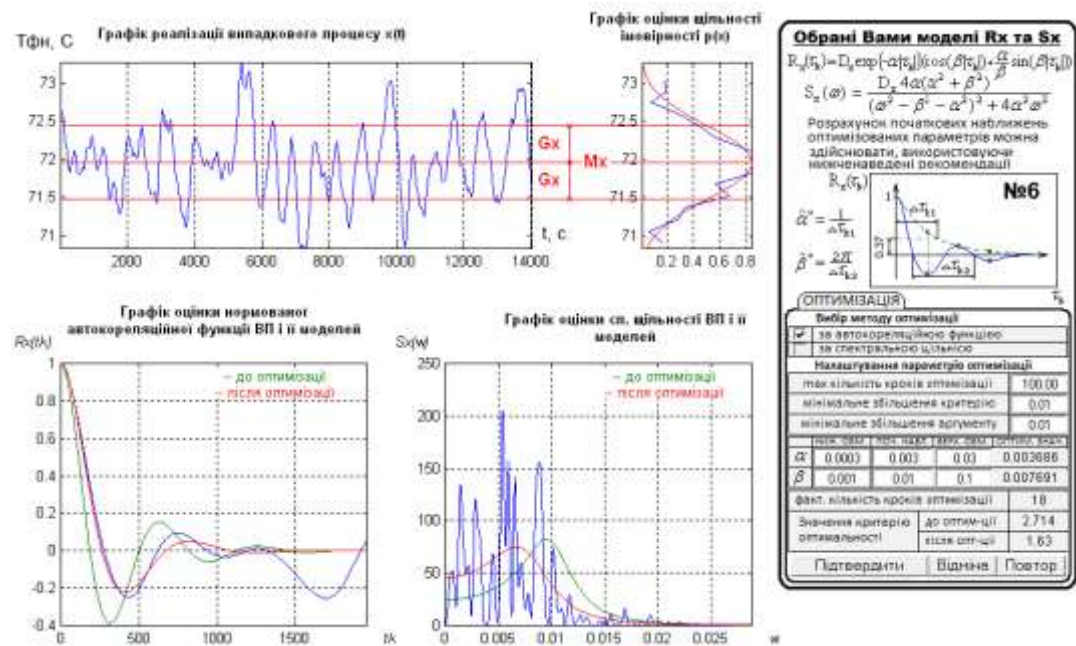


Рис. 2.13 – Результати параметричної ідентифікації моделі №6 неконтрольованих збурень

Таблиця результатів ідентифікації						
Номер моделі	α	β	A	C	γ	Значення критерію оптимізації
☒ 5	0.0031844	0.005979	-	-	-	3.4076
☒ 6	0.0036954	0.0076914	-	-	-	2.6578

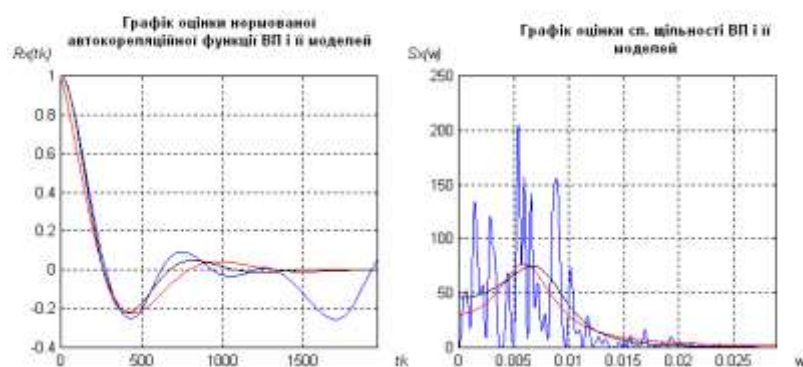


Рис. 2.14 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

Як видно з результатів ідентифікації моделі неконтрольованих збурень (рис. 2.14) кращою є модель №6, 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
« $u_{\text{п}} - T_{\text{н}}$ »	$W^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-16,4p}}{9,8p + 1}$	$W^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-12,4p}}{(6,5p + 1)^2}$
« $u_{\text{п}} - T_{\text{фн}}$ »	$W^o(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-59,8p}}{39,6p + 1}$	$W^o(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-43,9p}}{(26,4p + 1)^2}$
« $u_{\text{в}} - T_{\text{фн}}$ »	$W^o(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-27,4p}}{19,8p + 1}$	$W^o(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-19,6p}}{(13,2p + 1)^2}$

Для каналу « $u_{\text{п}} - T_{\text{н}}$ » передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-16,4p}}{9,8p + 1}; W^o(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-12,4p}}{(6,5p + 1)^2}$$

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 (канал « $u_n - T_H$ »)

t, c	T_H , °C	t, c	T_H , °C	t, c	T_H , °C
0	117	26	117,93	44	118,45
10	117	28	118,04	46	118,46
12	117,009	30	118,14	50	118,48
14	117,06	32	118,22	55	118,49
16	117,17	34	118,29	60	118,5
18	117,32	36	118,34	65	118,5
20	117,48	38	118,38	70	118,5
22	117,64	40	118,41		
24	117,79	42	118,43		

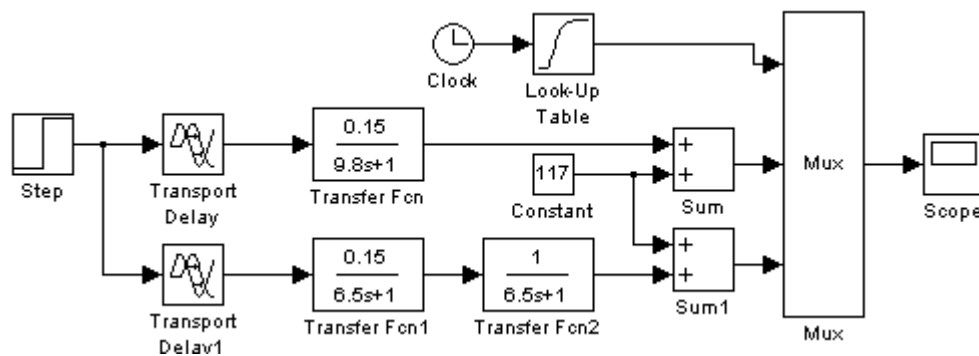


Рис. 2.15 – Схема моделювання каналу управління ОК (канал « $u_n - T_H$ »)

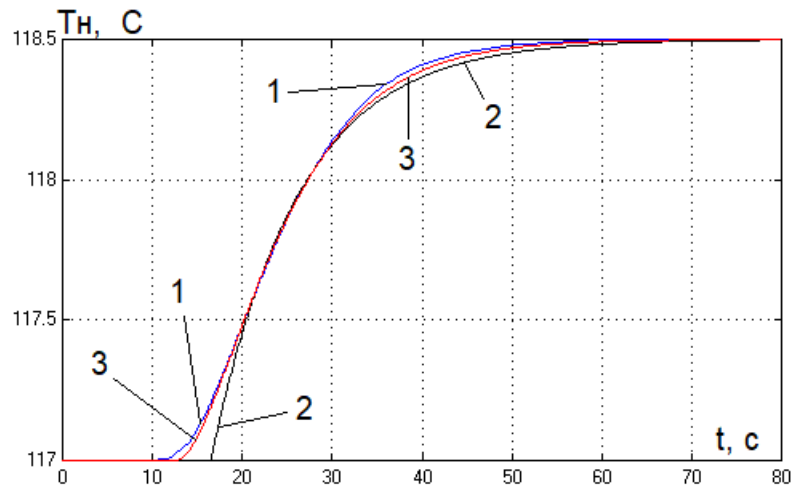


Рис. 2.16 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_n - T_n$ »: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Для каналу « $u_n - T_{fn}$ » передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W^0(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-59,8p}}{39,6p+1}; W^0(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-43,9p}}{(26,4p+1)^2}$$

Експериментальні дані за каналом « $u_n - T_{fn}$ » зведено в таблицю 2.4, схема моделювання наведена на рис. 2.17, а результати моделювання – на рис. 2.18.

Табл. 2.4 – Експериментальні дані (канал « $u_n - T_{fn}$ »)

t, c	T _{fn} , °C	t, c	T _{fn} , °C	t, c	T _{fn} , °C	t, c	T _{fn} , °C
0	72	75	72,161	120	72,398	180	72,489
35	72	80	72,195	125	72,413	190	72,492
40	72,001	85	72,228	130	72,426	200	72,494
45	72,007	90	72,259	135	72,438	250	72,5
50	72,02	95	72,288	140	72,448	300	72,5
55	72,0395	100	72,315	145	72,456		
60	72,065	105	72,339	150	72,463		
65	72,095	110	72,361	160	72,474		
70	72,127	115	72,381	170	72,482		

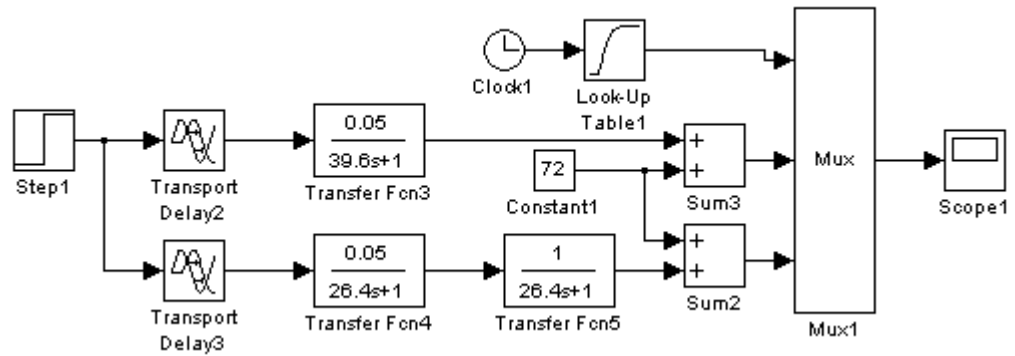


Рис. 2.17 – Схема моделювання каналу управління ОК
(канал « u_{π} – Тфн»)

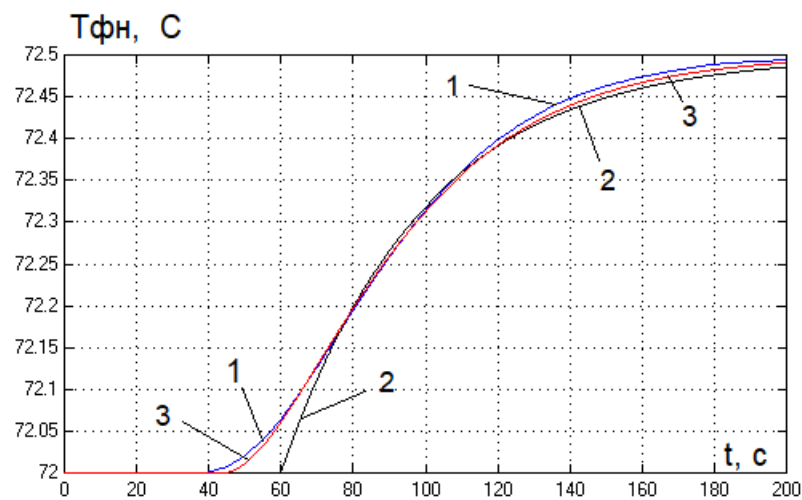


Рис. 2.18 – Результати моделювання ОК за каналом « u_{π} – Тфн»: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Для каналу « u_{π} – Тфн» передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК мають вигляд:

$$W^0(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-27,4p}}{19,8p+1}; W^0(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-19,6p}}{(13,2p+1)^2}$$

Експериментальні дані за каналом « u_{π} – Тфн» 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 (канал « u_B – $T_{фн}$ »)

t, c	$T_{фн}, ^\circ\text{C}$	t, c	$T_{фн}, ^\circ\text{C}$	t, c	$T_{фн}, ^\circ\text{C}$
0	72	50	70,643	100	70,018
16	72	55	70,476	110	70,008
20	71,974	60	70,347	120	70
25	71,845	65	70,249	130	70
30	71,624	70	70,176	140	70
35	71,359	75	70,123		
40	71,092	80	70,085		
45	70,849	90	70,04		

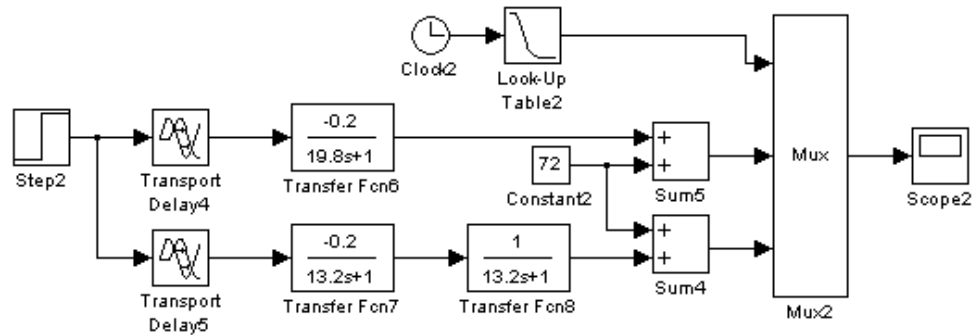
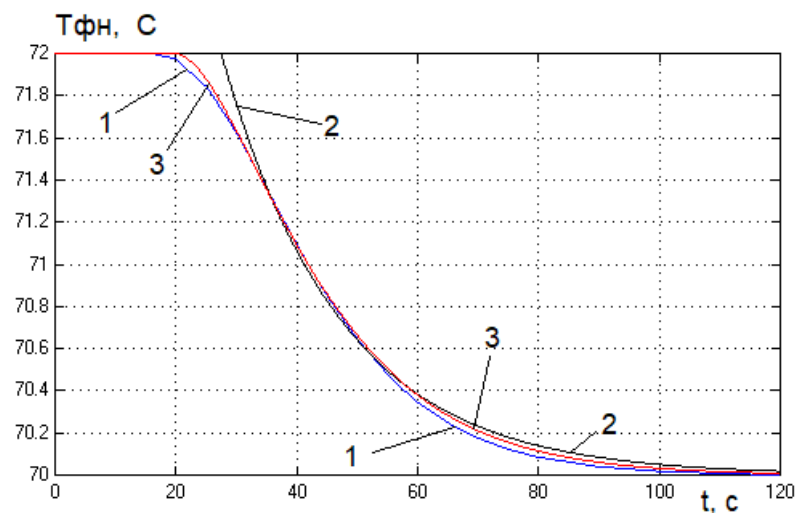
Рис. 2.19 – Схема моделювання каналу управління ОК (канал « u_B – $T_{фн}$ »)

Рис. 2.20 – Результати моделювання ОК по каналу « u_B – $T_{фн}$ »: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

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

Розробка схем моделювання каналів статички, отримання статичних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними статичними характеристиками.

Моделі статичних характеристик:

$$T_H = 0,15 \cdot u_{\Pi} + 108$$

$$T_{\Phi H} = 0,05 \cdot u_{\Pi} - 0,2 \cdot u_B + 81$$

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. 2.21, а результати моделювання – на рис. 2.22.

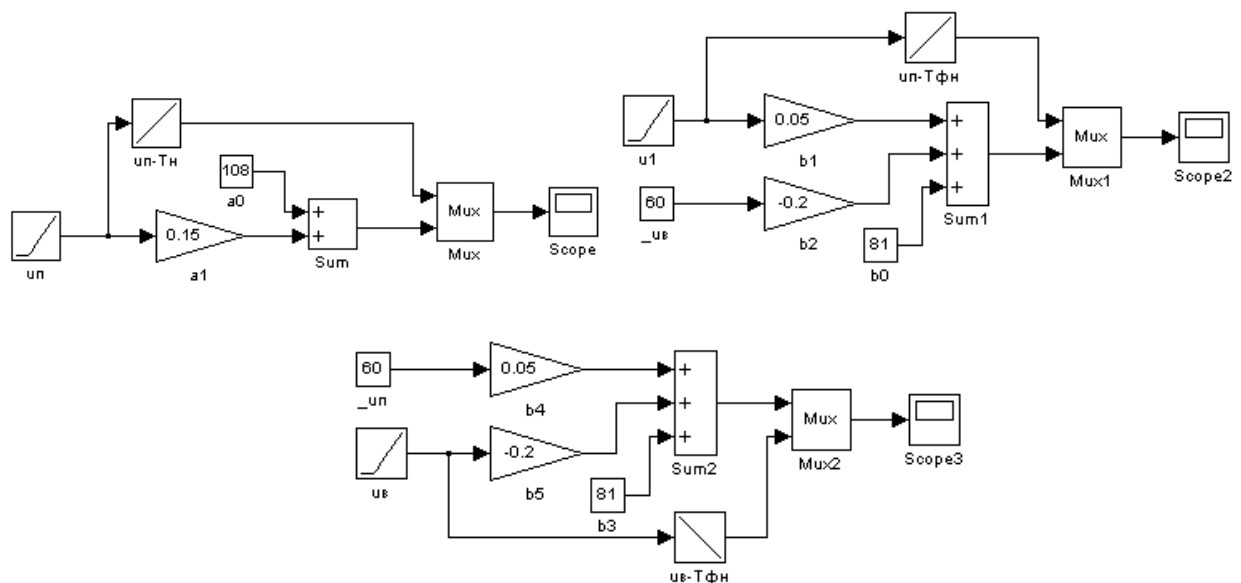


Рис. 2.21 – Схеми моделювання статичних характеристик ОК

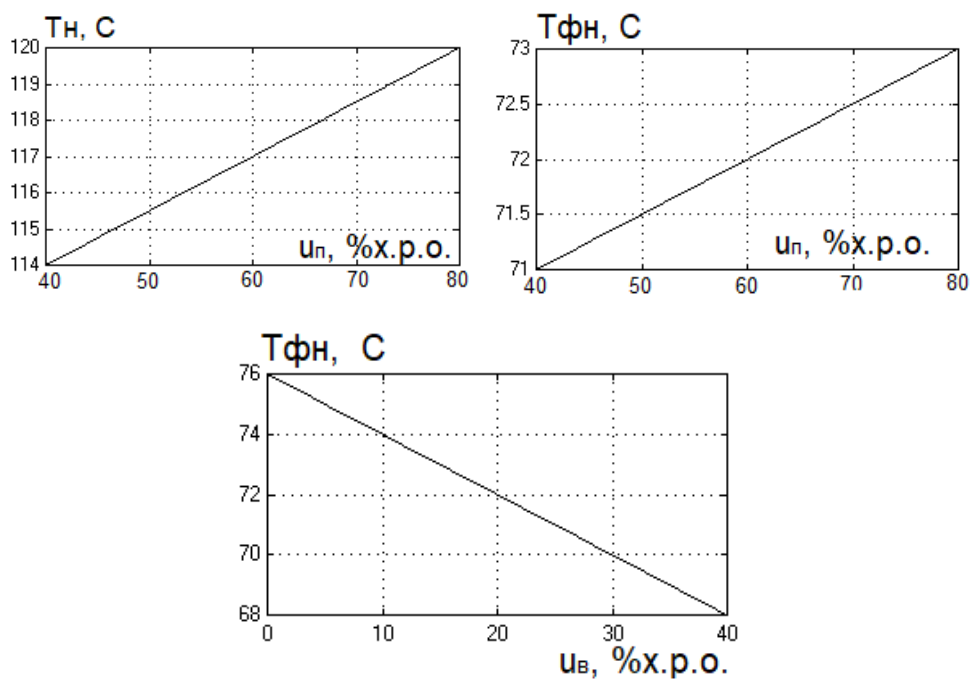


Рис. 2.22 – Результати моделювання статичних характеристик ОК

Як видно із графіків (рис. 2.22), 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. 2.23, а результати моделювання – на рис. 2.24 – 2.26.

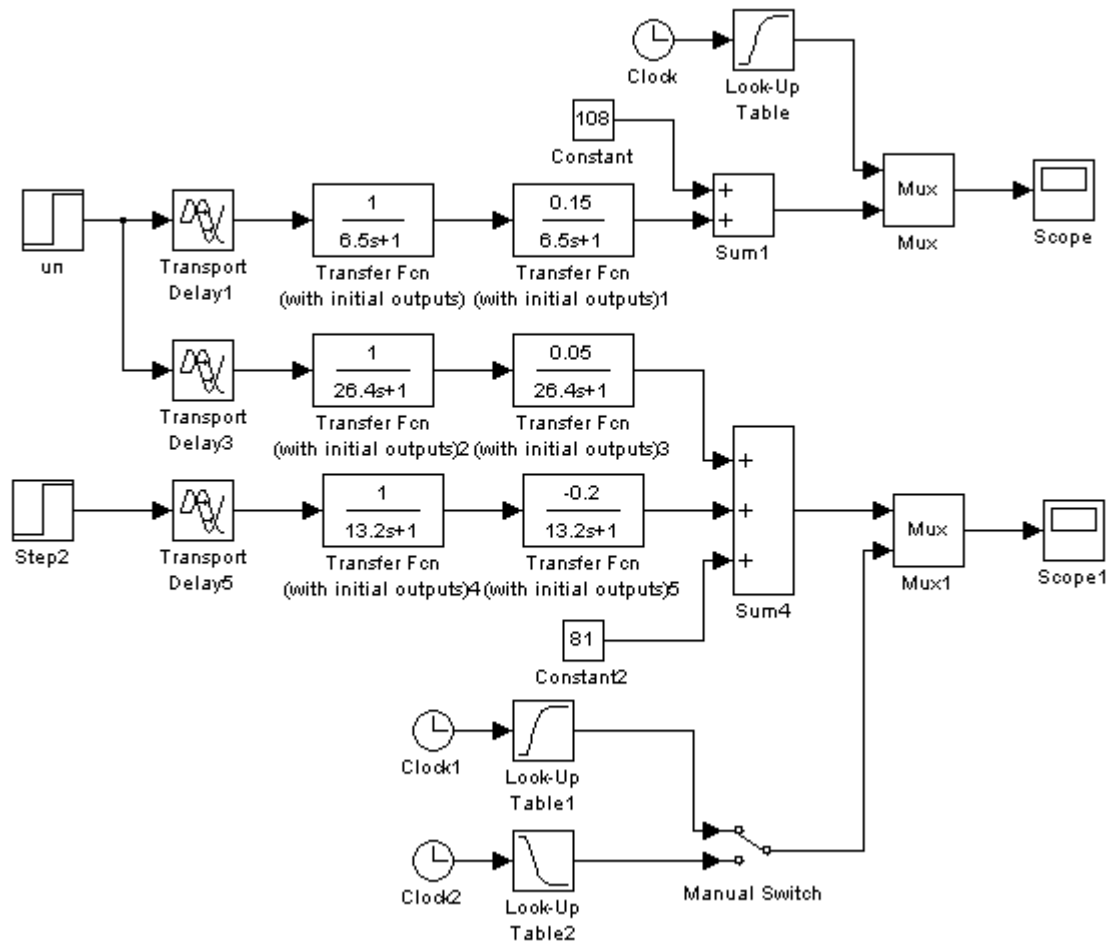


Рис. 2.23 – Схема моделювання повної моделі каналів ОК

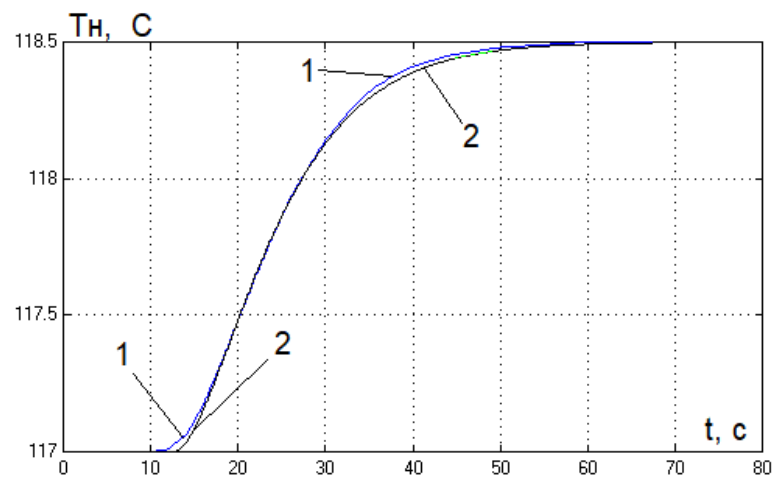


Рис. 2.24 – Результати моделювання повної моделі каналів ОК, канал "u_п – T_п": 1 – експериментальні дані, 2 - модель

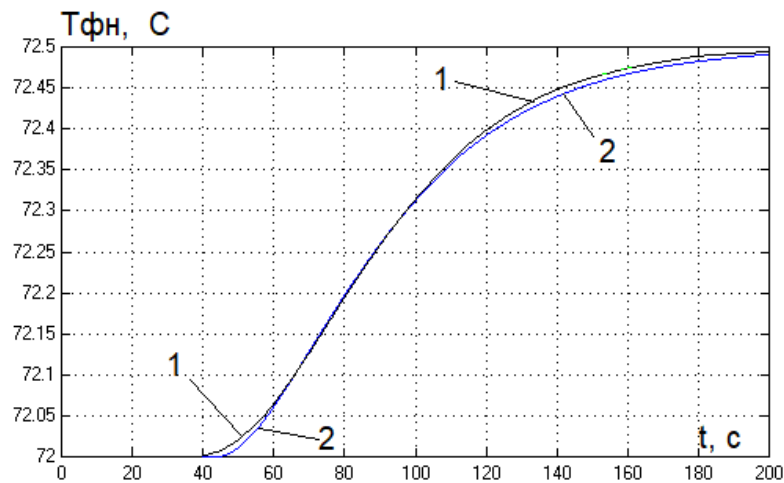


Рис. 2.25 – Результати моделювання повної моделі каналів ОК, канал "u_n"
– T_{fn} " : 1 – експериментальні дані, 2 - модель

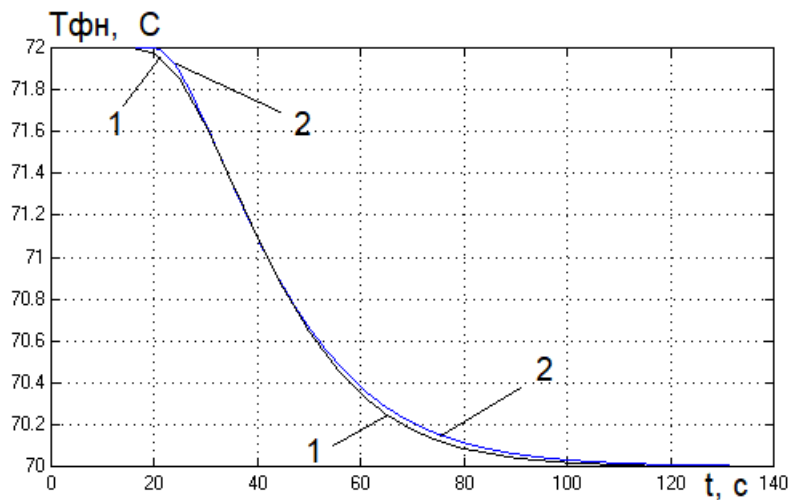


Рис. 2.26 – Результати моделювання повної моделі каналів ОК, канал "u_v"
– T_{fn} " : 1 – експериментальні дані, 2 - модель

Як видно з результатів моделювання (рис. 2.24 – 2.26), 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 формуючому фільтру. Його можна представити у вигляді такої структурної схеми моделювання

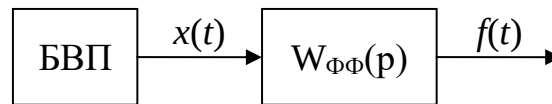


Рис. 2.27 – Структурна схема моделі СП

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

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_2}{3},$$

де G_x - середньоквадратичне відхилення процесу $x(t)$, Δt_2 – крок генерації випадкового процесу.

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

Для моделі №6

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

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

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

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

А після заміни

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

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

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

Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання каналу Тфн:

$$\sigma_x = \sigma_f / 2 = 0,4747 / 2 = 0,2374$$

$$\Delta t_\Gamma = \frac{1}{(2 \dots 3)\alpha} = \frac{1}{3 \cdot 0,0037} \dots \frac{1}{2 \cdot 0,0037} = 90,1 \dots 135 \approx 100c$$

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_\Gamma}{3} = 0,2374^2 \cdot \frac{2 \cdot 100}{3} = 3,76$$

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

$$k = \frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{2}{3,76} \cdot \sqrt{\frac{0,2254 \cdot 0,0037}{0,0037^2 + 0,0077^2}} = \frac{2}{3,76} \cdot \sqrt{\frac{0,2254 \cdot 0,0037}{0,00007298}} = 1,8$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,0037^2 + 0,0077^2}} = 117$$

$$\vartheta = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{0,0037}{\sqrt{0,0037^2 + 0,0077^2}} = 0,43$$

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{1,8}{117^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,43 \cdot 117p + 1}$$

У параметрах блоку БВП необхідно встановити такі параметри:

Налаштування елемента Band-Limited White Noise:

Noise power = $S_x(\omega) = 3,76$;

Sample time = $\Delta t_\Gamma = 100$ c;

$Seed = 1.$

Кількість точок моделювання $N = 1024$

$T_p = N \cdot \Delta t_T = 1024 \cdot 100 = 102\,400 \text{ c}$

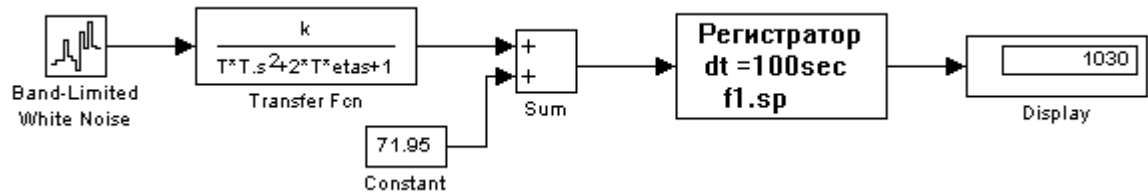


Рис. 2.28 – Схема моделювання для отримання параметрів формуючого фільтра

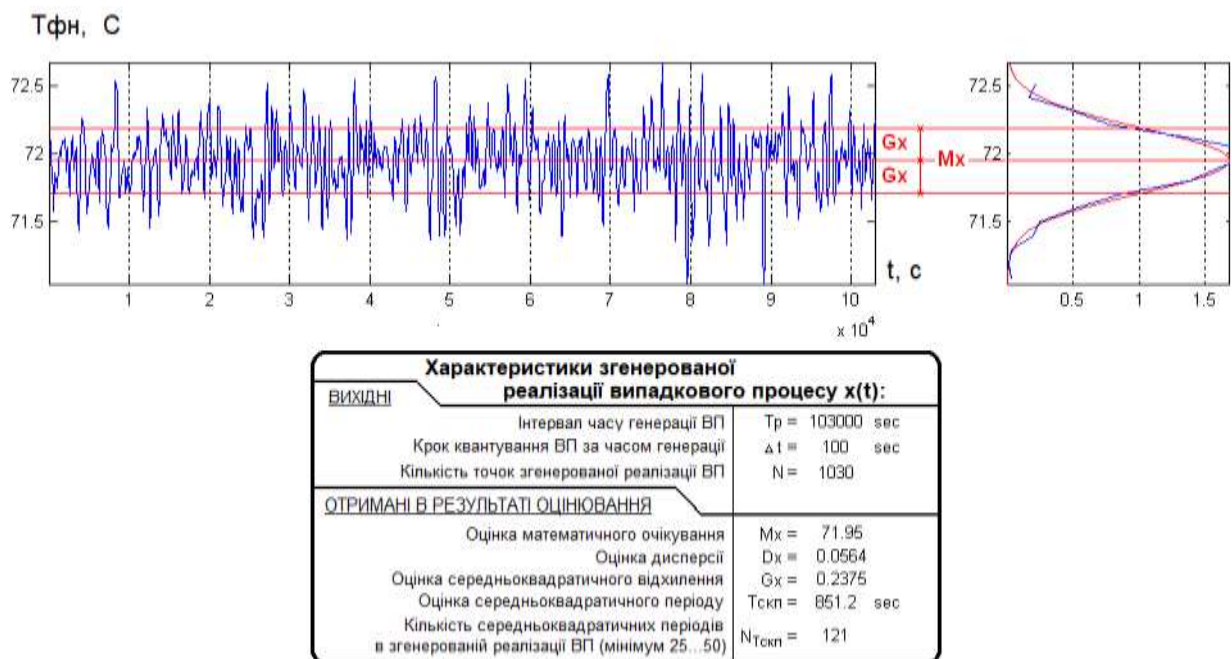


Рис. 2.29 – Результати оцінювання статистичних показників формуючого фільтра з розрахунковими параметрами

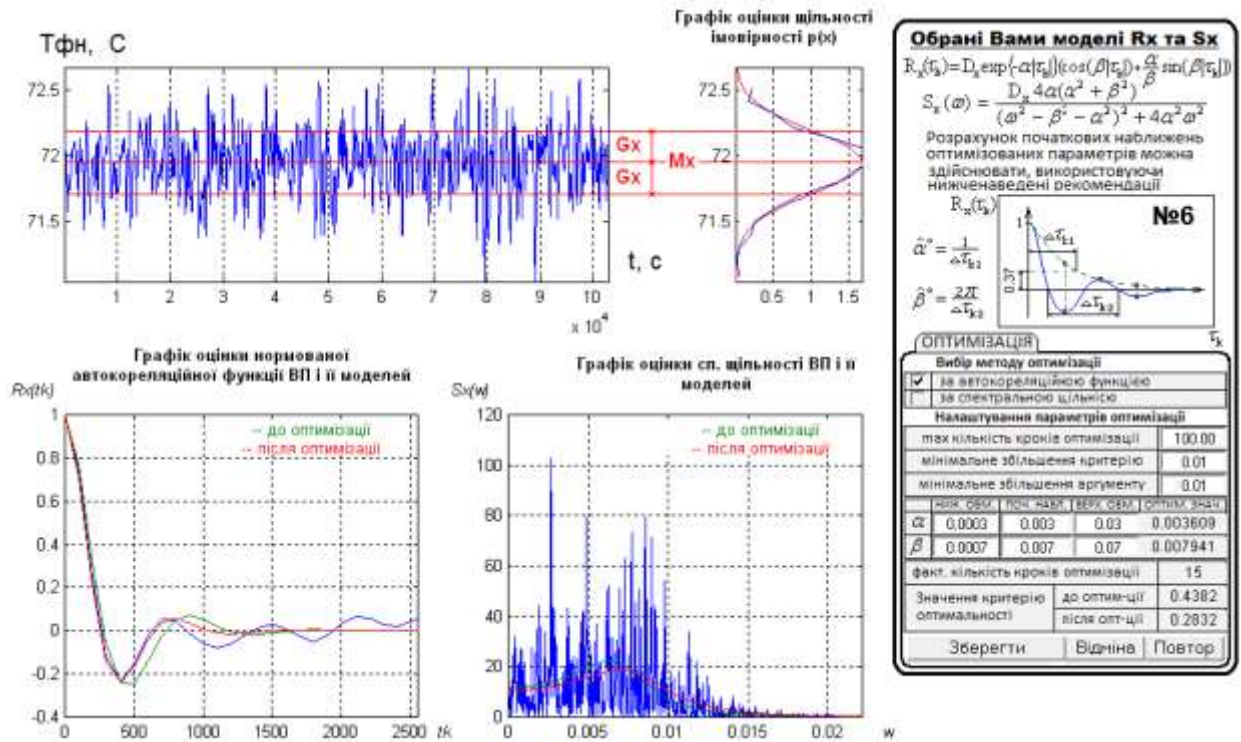


Рис. 2.29 (закінчення) – Результати оцінювання статистичних показників формуючого фільтра з розрахунковими параметрами

$$\Delta M = \frac{|M - \hat{M}|}{M} \cdot 100 = \frac{|71,95 - 71,95|}{71,95} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta \sigma = \frac{|\sigma - \hat{\sigma}|}{\sigma} \cdot 100 = \frac{|0,2375 - 0,4747|}{0,2375} \cdot 100 = 100\%$$

$$\Delta \alpha = \frac{|\alpha - \hat{\alpha}|}{\alpha} \cdot 100 = \frac{|0,003609 - 0,0036864|}{0,003609} \cdot 100 = 2,1\%$$

$$\Delta \beta = \frac{|\beta - \hat{\beta}|}{\beta} \cdot 100 = \frac{|0,007941 - 0,0076914|}{0,007941} \cdot 100 = 3,1\%$$

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

$$k = \frac{\hat{\sigma}}{\sigma} \cdot k_{\Pi} = \frac{0,4747}{0,2375} \cdot 1,8 = 3,6$$

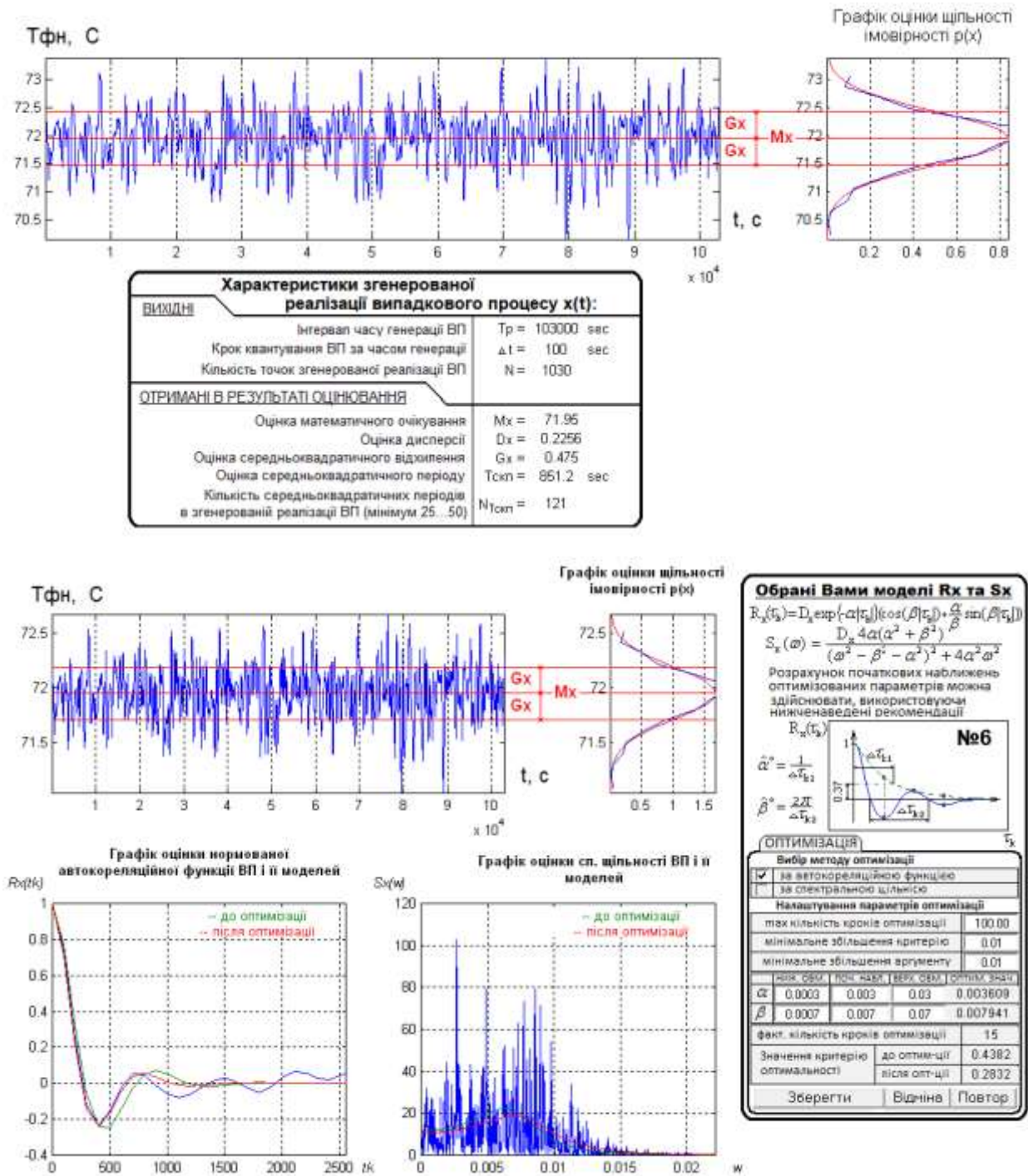


Рис. 2.30 – Результати оцінювання статистичних показників формуючого фільтра зі скоригованими параметрами

$$\Delta M = \frac{|M - \hat{M}|}{M} \cdot 100 = \frac{|71,95 - 71,95|}{71,95} \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta \sigma = \frac{|\sigma - \hat{\sigma}|}{\sigma} \cdot 100 = \frac{|0,475 - 0,4747|}{0,475} \cdot 100 = 0,06\%$$

$$\Delta\alpha = \frac{|\alpha - \hat{\alpha}|}{\alpha} \cdot 100 = \frac{|0,003609 - 0,0036864|}{0,003609} \cdot 100 = 2,1\%$$

$$\Delta\beta = \frac{|\beta - \hat{\beta}|}{\beta} \cdot 100 = \frac{|0,007941 - 0,0076914|}{0,007941} \cdot 100 = 3,1\%$$

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

Кінцева передаточну функцію формуючого фільтр.

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{3,6}{13689p^2 + 100,62p + 1}$$

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель неконтрольованих збурень. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 4.17.

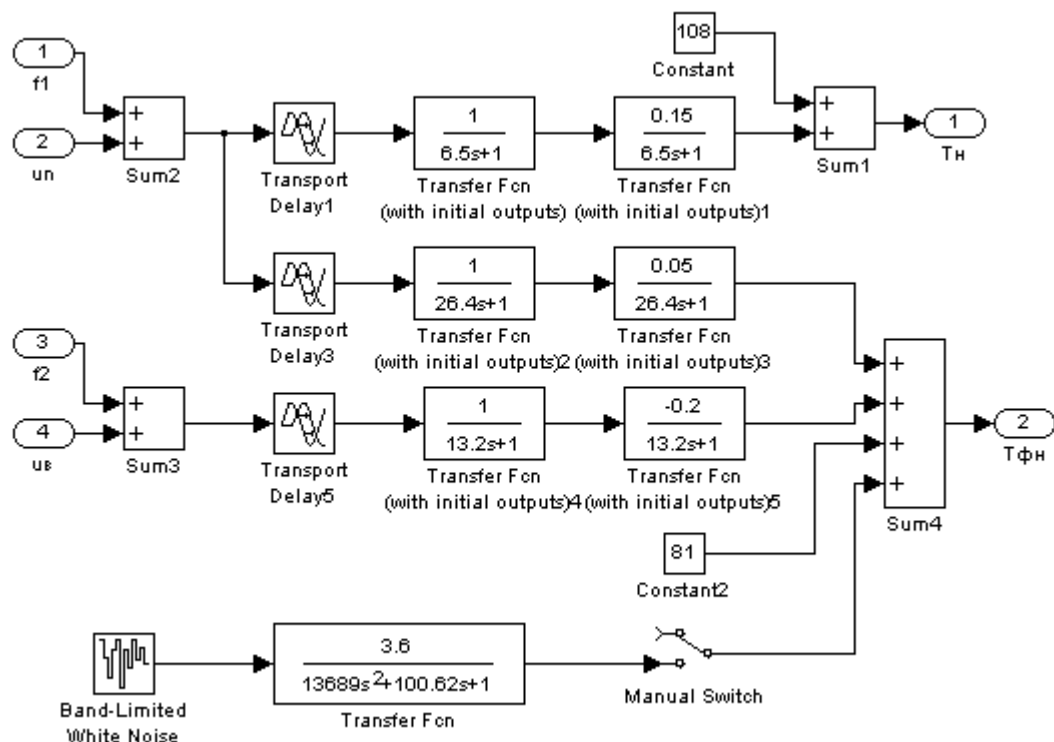


Рис. 2.31 – Схема моделювання повної моделі ОК

2.5 Висновки за розділом

В результаті виконання цього розділу була проведена ідентифікація моделі процесу варки фруктово-ягідної начинки, 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 варочній колонці та темперуючій машині протікають процеси, які за своєю природою мають такі властивості. При складанні структурних схем моделювання та їх реалізації були отримані результати, які мають достатній ступінь відповідності реальним передаточних функцій, що свідчить про правильність проведення параметричної ідентифікації моделей каналів ОК.

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

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

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

Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

- підтримання параметрів стану об'єкту керування (T_n та T_{fn}) на їх заданих значеннях ($T_n^{здн}$ та $T_{fn}^{здн}$) – 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 варки мармеладу необхідно регулювати температуру нагрівання T_n та температуру охолодження начинки T_{fn} .

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

Процес варки фруктово-ягідних начинок 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 (див. табл. 2.1) температура нагрівання начинки має підтримуватися на рівні $T_n^{зд} = 117^{\circ}\text{C}$, з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. За параметром можливі припустимі короточасні відхилення до $\pm 2^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 100. Регламентна зона за параметром наведена на рисунку 5.1. Температура охолодження начинки $T_{фн}$ має підтримуватися на рівні $T_{фн}^{зд} = 72^{\circ}\text{C}$, з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. За параметром можливі припустимі короточасні відхилення до $\pm 2^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 100. Регламентна зона за параметром наведена на рисунку 5.2.

Як видно з гранично припустимих регламентів на САР для процесу виробництва фруктово-ягідної начинки, 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.

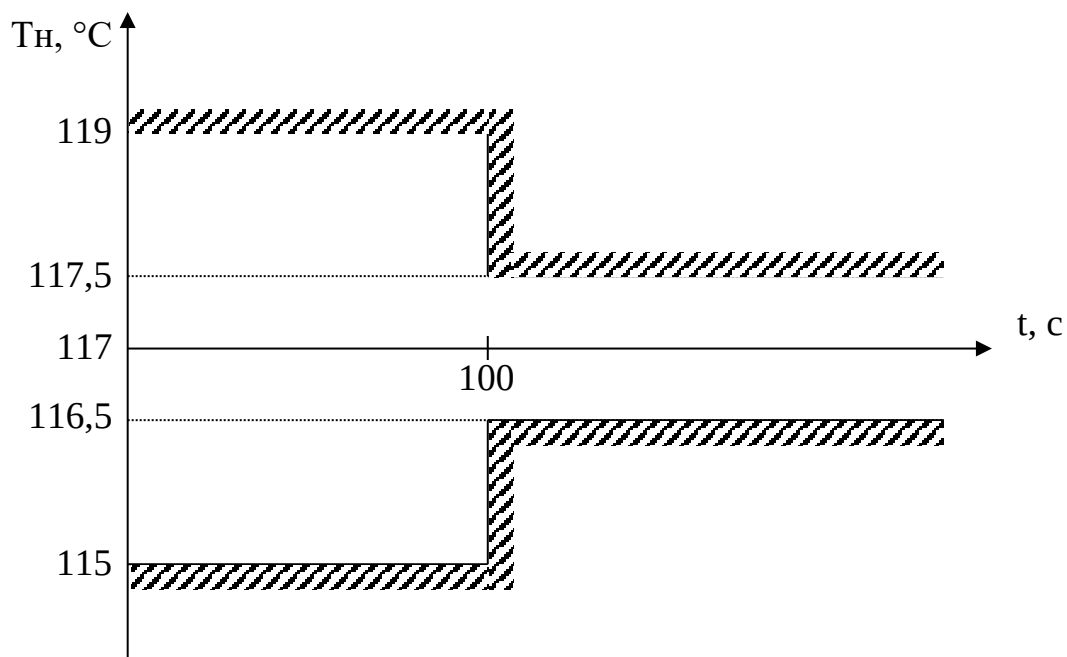


Рис. 3.1 – Регламентна зона за температурою нагрівання начинки

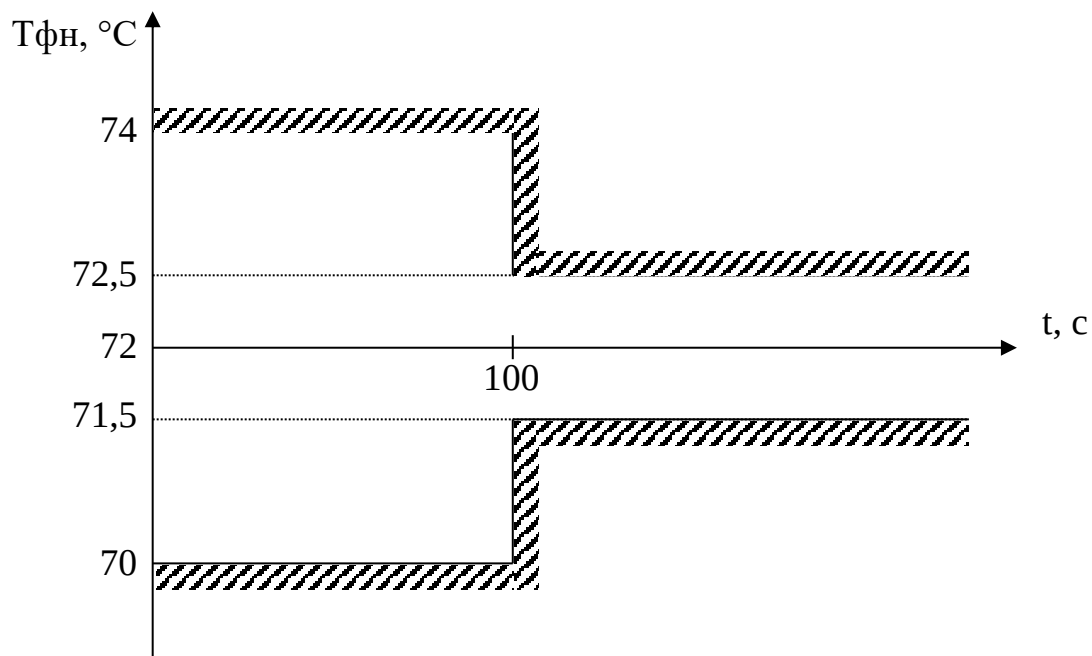


Рис. 3.2 – Регламентна за за температурою охолодження начинки

Отже, ефективну роботу САР з регулювання тиску середовища та рівню конденсату, підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J = \int_0^{t_M} (|\Delta T_H(t)| + |\Delta T_{ФН}(t)|) dt$$

де t_M - час моделювання;

$\Delta T_H(t)$ – помилка регулювання температури нагрівання начинки;

$\Delta T_{ФН}(t)$ – помилка регулювання температури охолодження начинки.

Для вирішення задачі регулювання температури нагрівання начинки T_H та температури охолодження начинки $T_{ФН}$ 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.

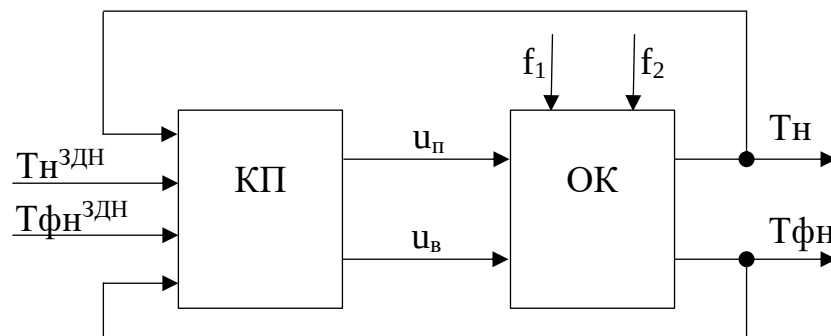


Рис. 3.3 – Структурна схема системи керування, що відповідає замкнутому принципу керування

3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Відповідно до структурної схеми, що відповідає замкнутому принципу керування (рис. 3.3), структурна схема САР температур нагрівання та охолодження начинки матиме вигляд, наведений на рис. 3.4.

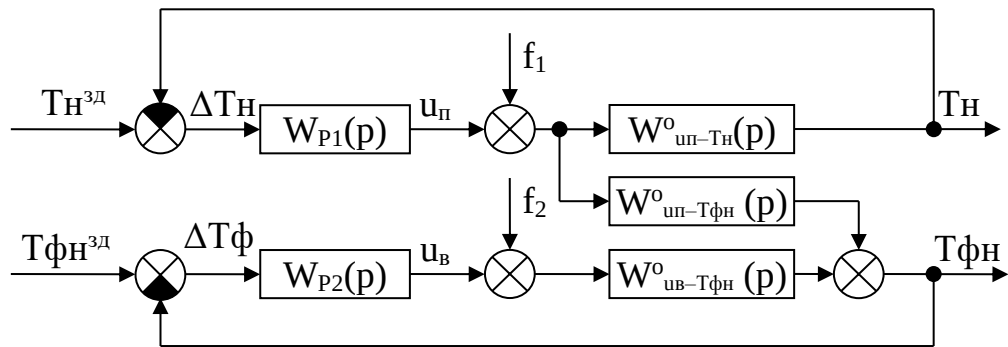


Рис. 3.4 – Структурна схема САР базової структури

На схемі $W_{P1}(p)$ - передаточна функція регулятора температури нагрівання начинки; $W_{P2}(p)$ - передаточна функція регулятора температури охолодження начинки; $T_{H}^{3дH}$, $T_{фH}^{3дH}$ – задані значення регульованих координат; ΔT_H , $\Delta T_{фH}$ - помилки регулювання.

Процес варки начинки 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 ПД-регулятора

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

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

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК каналу температури нагрівання начинки має вигляд:

$$W^O(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-16,4p}}{9,8p+1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_{P1} = \frac{0,8 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{0,8 \cdot 9,8}{0,15 \cdot 16,4} = 3,2\% \text{х.р.о. } /^{\circ}\text{C}$$

$$T_{I31} = 2,5 \cdot \tau_O = 2,5 \cdot 16,4 = 41 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПД- регулятора:

$$K_{P1} = \frac{1,0 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,0 \cdot 9,8}{0,15 \cdot 16,4} = 4\% \text{х.р.о. } /^{\circ}\text{C}$$

$$T_{I31} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 16,4 = 32,8 \text{ с}$$

$$T_{уп1} = 0,5 \cdot \tau_O = 0,5 \cdot 16,4 = 8,2 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК каналу температури охолодження начинки має вигляд:

$$W^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-27,4p}}{19,8p+1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_{P2} = \frac{0,8 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{0,8 \cdot 19,8}{-0,2 \cdot 27,4} = -2,9\% \text{х.р.о. } /^{\circ}\text{C}$$

$$T_{I32} = 2,5 \cdot \tau_O = 2,5 \cdot 27,4 = 68,5 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПД- регулятора:

$$K_{P2} = \frac{1,0 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,0 \cdot 19,8}{-0,2 \cdot 27,4} = -3,6\% \text{х.р.о. } /^{\circ}\text{C}$$

$$T_{I32} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 27,4 = 54,8 \text{ с}$$

$$T_{уп2} = 0,5 \cdot \tau_O = 0,5 \cdot 27,4 = 13,7 \text{ с}$$

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.

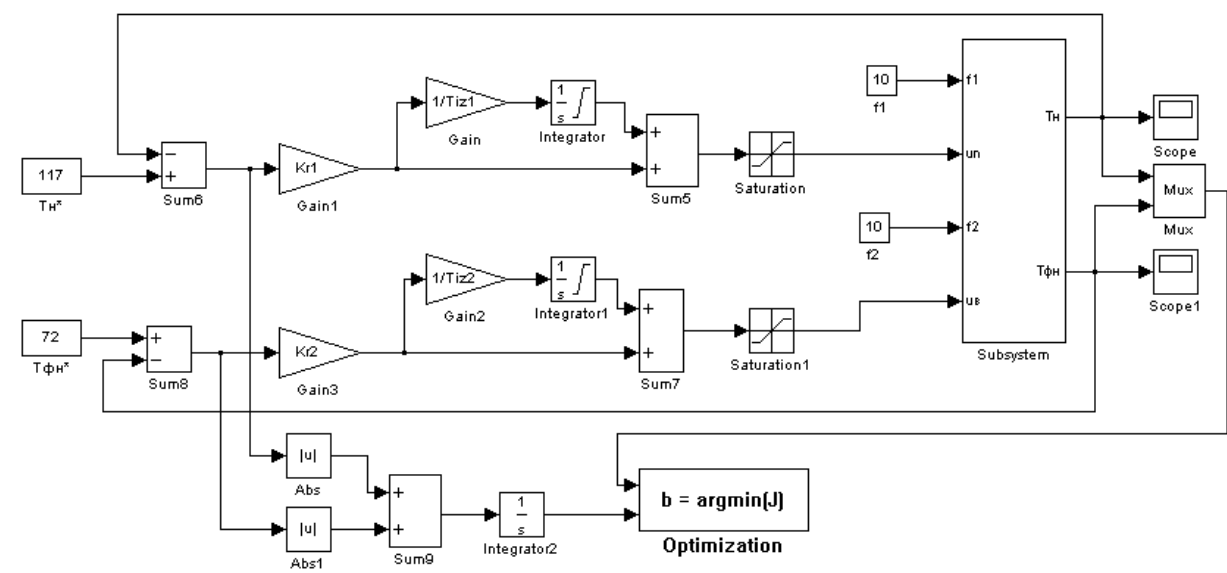


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів

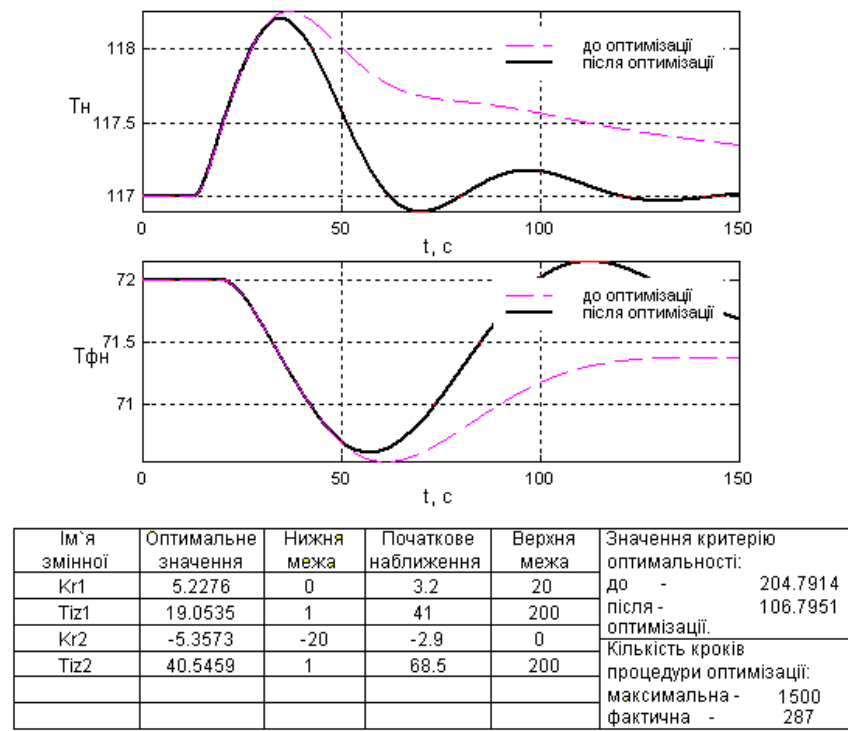


Рис. 3.6 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів

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.

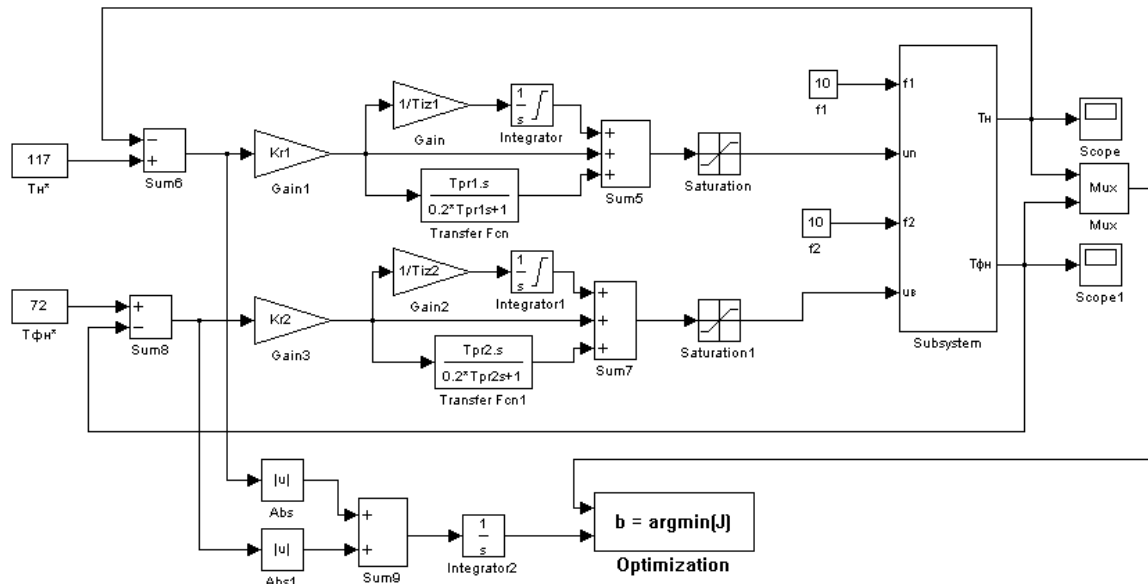
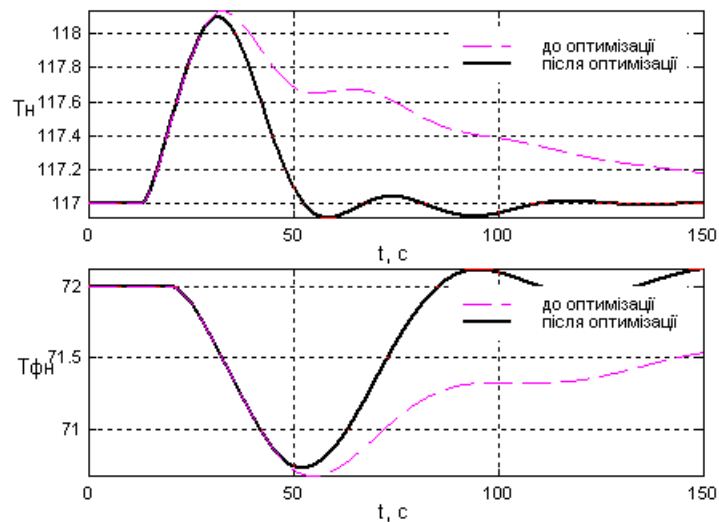


Рис. 3.7 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	6.3239	0	4	20	до - 167.8958
Tiz1	14.1242	1	32.8	200	після - 74.7827
Tpr1	6.4459	0	8.2	50	оптимізації.
Kr2	-5.4515	-20	-3.6	0	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	22.3264	1	54.8	200	максимальна - 1500
Tpr2	13.7561	0	13.7	50	фактична - 726

Рис. 3.8 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів

Проведемо порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах за значенням критерію оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

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.

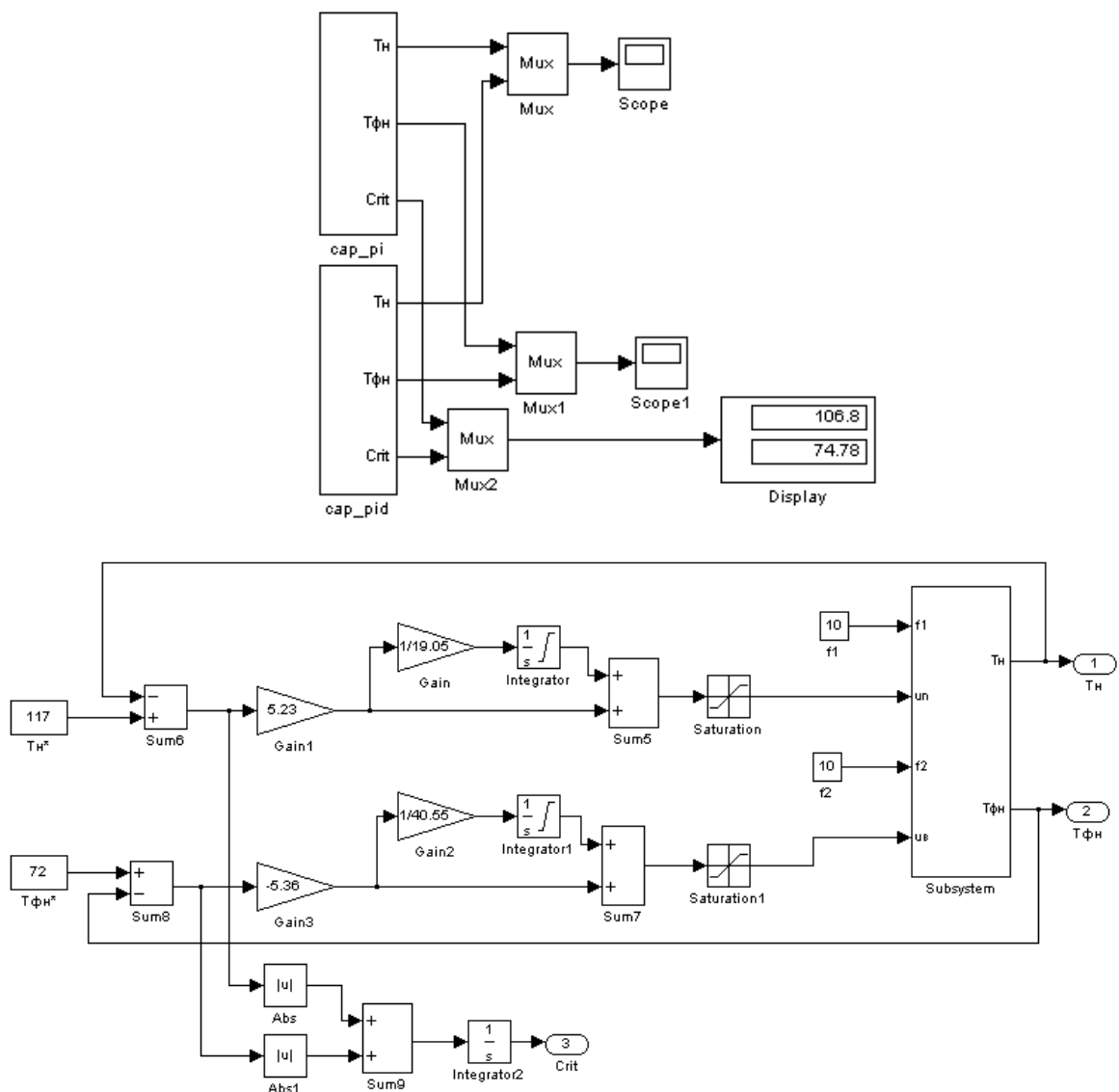


Рис. 3.9 – Схема моделювання для порівняння САР з ПІ- та ПІД-регуляторами

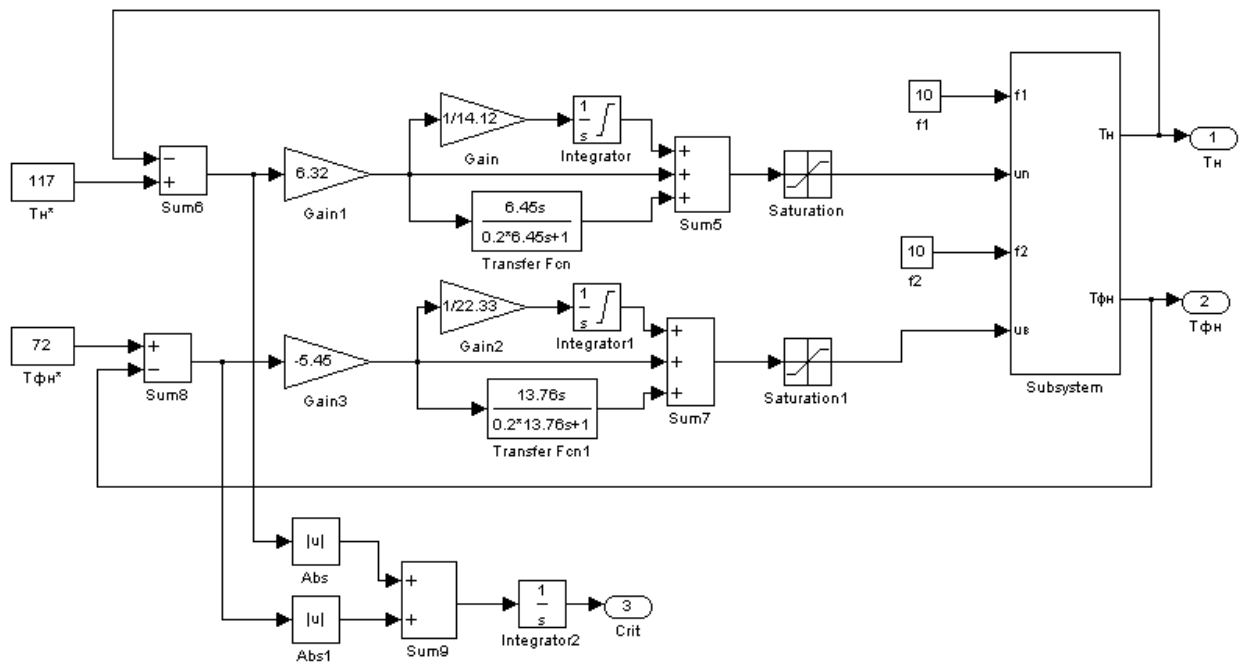


Рис. 3.9 (закінчення) – Схема моделювання для порівняння САР з ПІ- та ПД-регуляторами

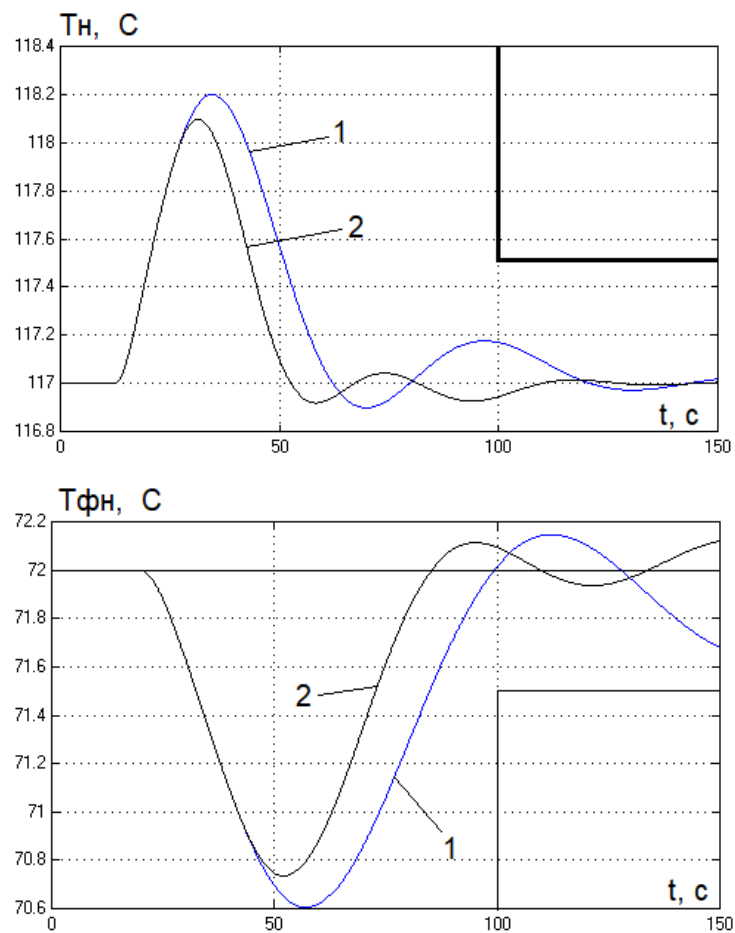


Рис. 3.10 – Результати порівняння САР з ПІ (1) та ПД-регулятором (2)

Таблиця 3.1 – Результати порівняння варіантів САР

САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_H^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп1}}, \text{с}$	$\Delta T_{\text{фн}}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп2}}, \text{с}$	
ПІ	1,2	51,2	1,39	84,8	106,8
ПІД	1,1	43,4	1,26	72,7	74,78

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів, САР з ПІД-регуляторами є кращою за усіма показниками. Тому ПІД-закон регулювання доцільно використовувати і надалі.

Проведемо аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК.

В процесі роботи ділянки приготування фруктово-ягідної начинки 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 $10\% \text{х.р.о.}$. Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором на грубість наведені вище на рис. 3.5 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.

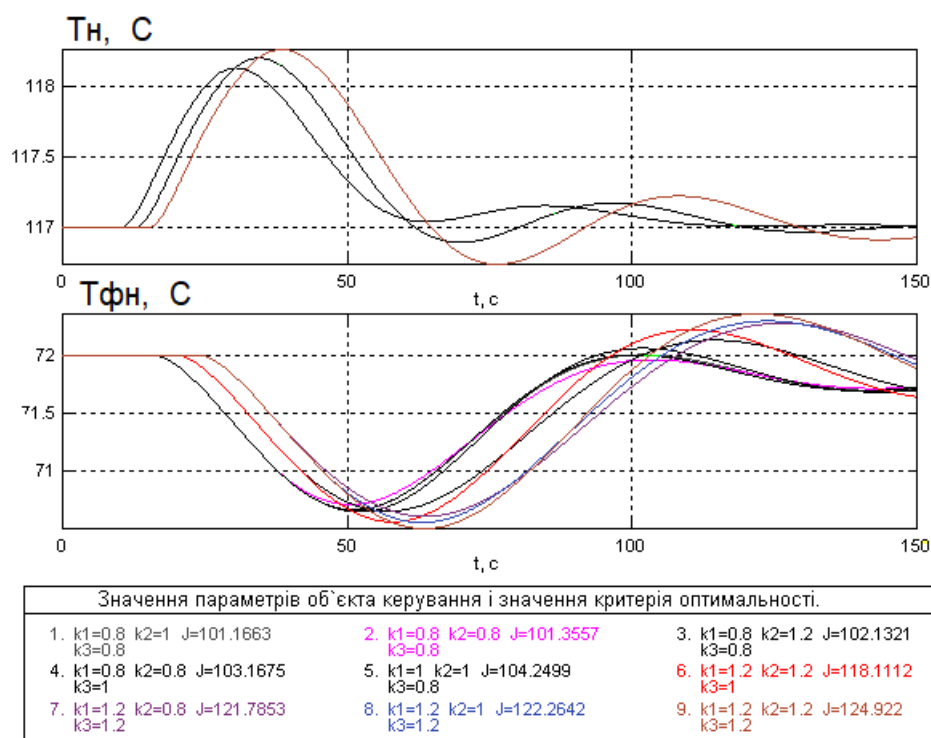


Рис. 3.11 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регуляторами

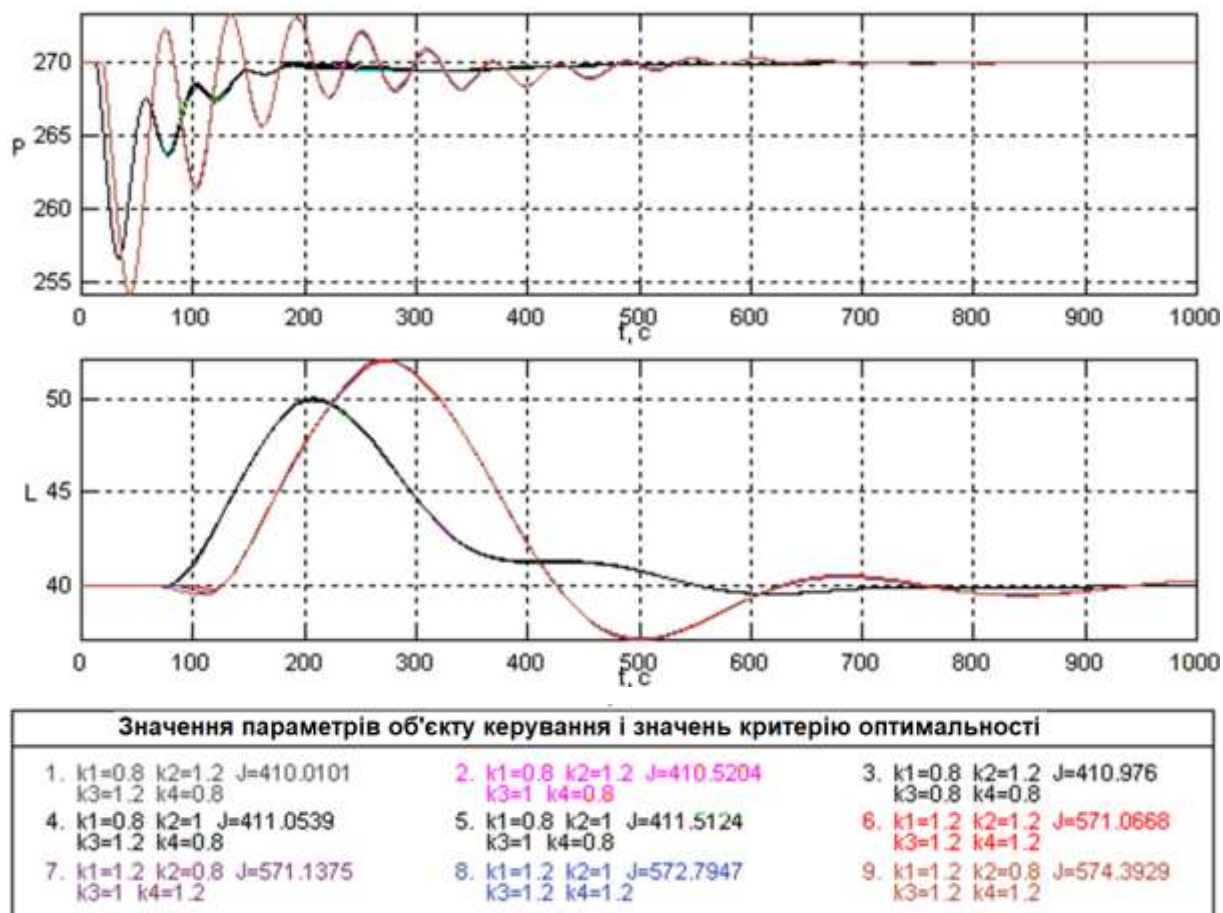


Рис. 3.12 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регуляторами

«Найсприятливішою» для керування є САР з ПІ-регуляторами з часами запізнення в прямих каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень та номінальним запізненням у перехресному каналі. «Найнесприятливішою» для керування є САР з ПІ-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, на 20% більших від номінальних значень. Схема моделювання САР з ПІ-регуляторами при номінальних, «найсприятливіших» та «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК наведена на рис. 3.13, а результати моделювання – на рис. 3.14 та у таблиці 3.2.

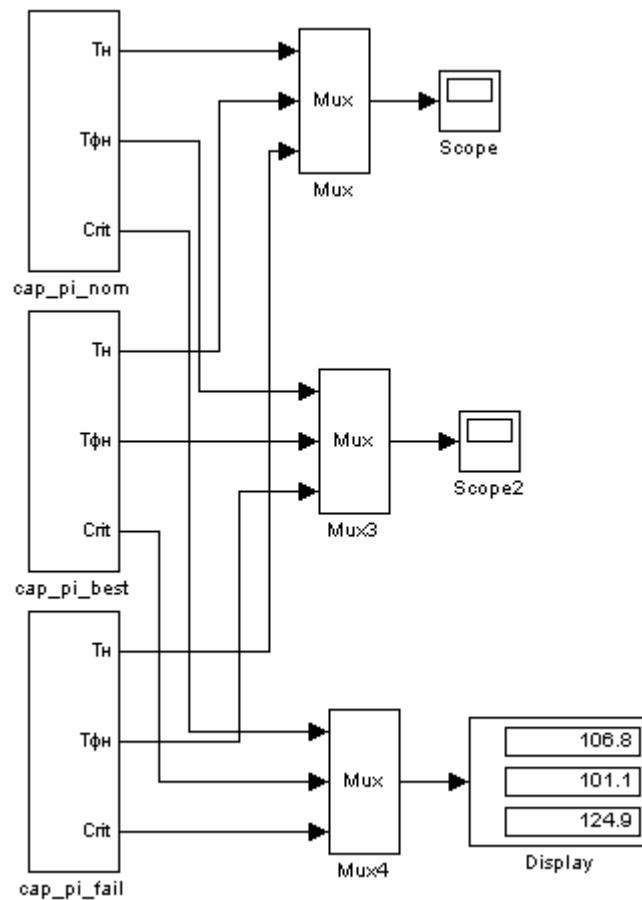


Рис. 3.13 – Схема моделювання САР з ПІ-регуляторами при номінальних, «найсприятливіших» та «найнесприятливіших» для керування параметрах

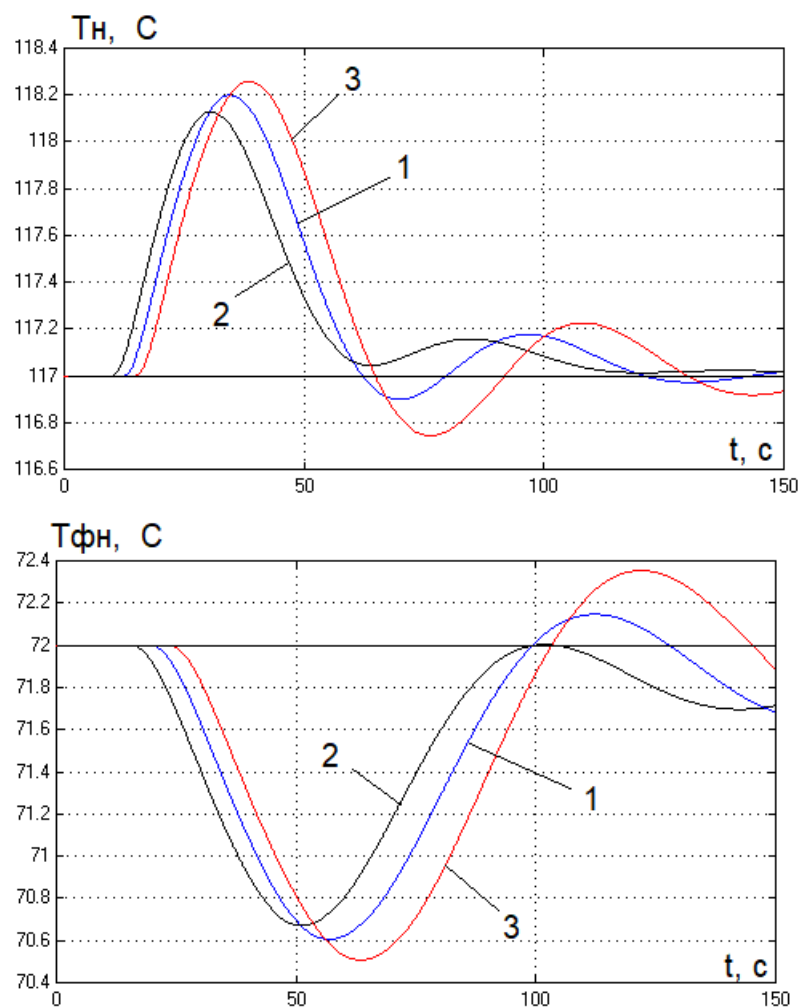


Рис. 3.14 – Результати порівняння CAP з ПІ-регуляторами при номінальних (1), «найсприятливіших» (2) та «найнесприятливіших» (3) для керування параметрах ОК

Таблиця 3.2 – Порівняльний аналіз CAP з ПІ-регуляторами

Варіант CAP (параметри ОК)	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_n^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп1}}, \text{c}$	$\Delta T_{fn}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп2}}, \text{c}$	
номінальні	1,2	51,2	1,39	84,8	106,8
«насприятливіші»	1,13	46,5	1,33	77,6	101,1
«найнесприятливіші»	1,26	55,9	1,49	92,1	124,9

«Найсприятливішою» для керування є CAP з ПІД-регуляторами з часами запізнення в прямих каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень та на 20% більшим запізненням у перехресному каналі. «Найнесприятливішою»

для керування є САР з ПІД-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, на 20% більших від номінальних значень. Схема моделювання САР з ПІД-регуляторами при номінальних, «найсприятливіших» та «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК наведена на рис. 3.15, а результати моделювання – на рис. 3.16 та у таблиці 3.3.

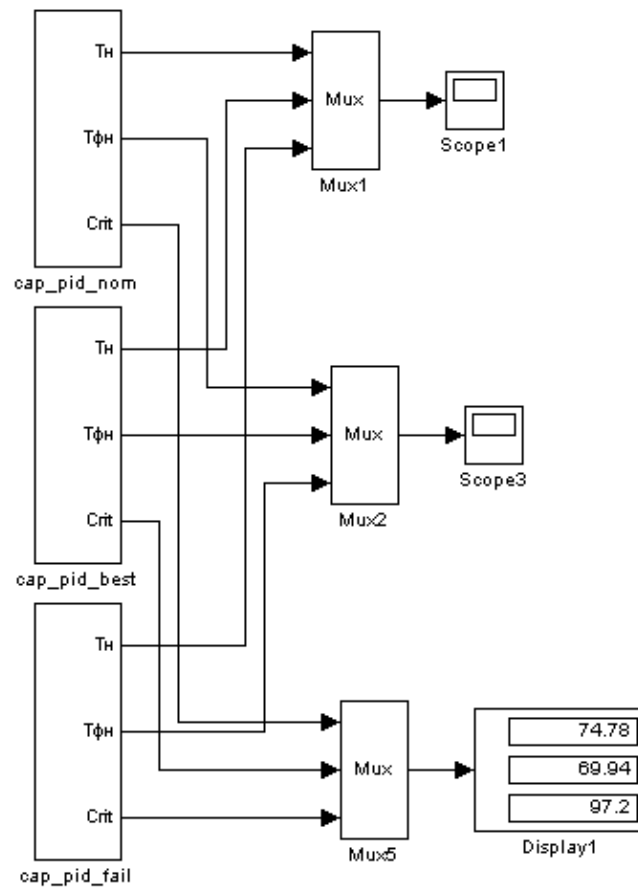


Рис. 3.15 – Схема моделювання САР з ПІД-регуляторами при номінальних, «найсприятливіших» та «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК

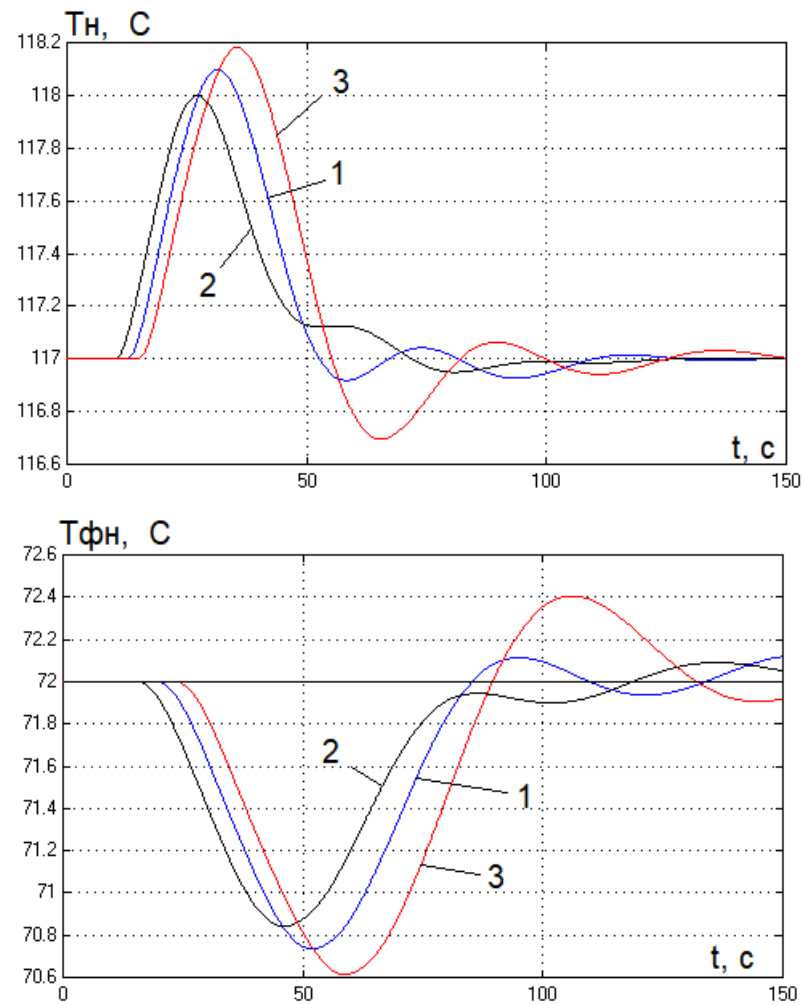


Рис. 3.16 – Результати порівняння САР з ПІД-регуляторами при номінальних (1), «найсприятливіших» (2) та «найнесприятливіших» (3) для керування параметрах ОК

Таблиця 3.3 – Порівняльний аналіз САР з ПІД-регуляторами

Варіант САР (параметри ОК)	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{\text{н}}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп1}}, \text{c}$	$\Delta T_{\text{фн}}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп2}}, \text{c}$	
номінальні	1,1	43,4	1,26	72,7	74,78
«насприятливіші»	1,0	38,4	1,16	66,4	69,94
«найнесприятливіші»	1,18	48,5	1,38	80,7	97,2

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 багатовимірної САР).

Для САР температур нагрівання і охолодження начинки основною причиною недостатньої динамічної точності САР може бути дія перехресного зв'язку 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. 3.17.

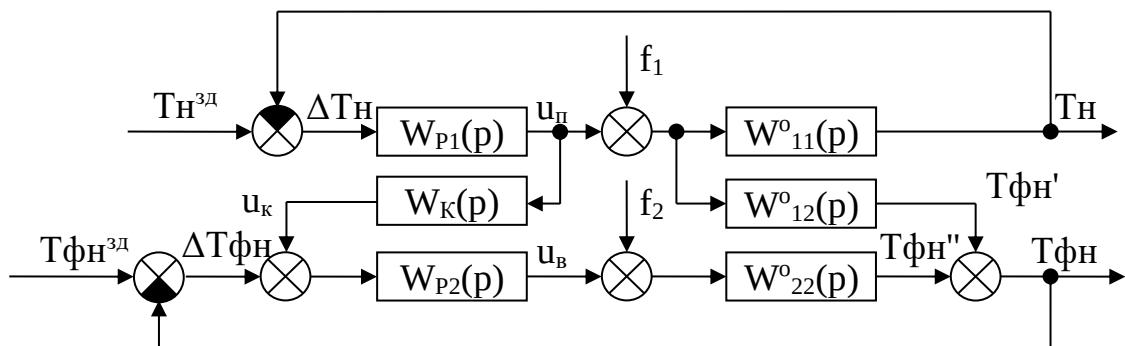


Рис. 3.17 – Структурна схема автономної САР

Виведення передаточних функцій коригуючих зв'язків, аналіз їх структури з умов фізичної можливості бути реалізованим, приведення до фізично реалізується увазі, подання до формі з'єднання типових динамічних ланок та отримання перехідних характеристик.

$$T_{фн}' + T_{фн}'' = T_{фн} = 0$$

$$T_{фн}' = u_{п} \cdot W_{12}^0(p); \quad T_{фн}'' = u_{п} \cdot W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p)$$

$$u_{\Pi} \cdot W_{12}^O(p) + u_{\Pi} \cdot W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p) = 0$$

$$u_{\Pi} \cdot W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p) = -u_{\Pi} \cdot W_{12}^O(p)$$

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

$$W_{12}^O(p) = \frac{0,05 \cdot e^{-59,8p}}{39,6p+1}; \quad W_{22}^O(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-27,4p}}{19,8p+1};$$

$$W_{P2}(p) = -5,45 \cdot \left(1 + \frac{1}{22,3p} + 13,76p\right) = -5,45 \cdot \frac{13,76 \cdot 22,3 \cdot p^2 + 22,3p + 1}{22,3p} = -5,45 \cdot \frac{306,85p^2 + 22,3p + 1}{22,3p}$$

$$\begin{aligned} W_K(p) &= -\frac{W_{12}^O(p)}{W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p)} = -\frac{\frac{0,05 \cdot e^{-59,8p}}{39,6p+1}}{-5,45 \cdot \frac{306,85p^2 + 22,3p + 1}{22,3p} \cdot \frac{-0,2 \cdot e^{-27,4p}}{19,8p+1}} \\ &= -\frac{0,05}{5,45 \cdot 0,2} \cdot e^{(-59,8+27,4)p} \cdot \frac{22,3p \cdot (19,8p+1)}{(306,85p^2 + 22,3p + 1) \cdot (39,6p+1)} \\ &= \\ &= -0,05 \cdot e^{-32,4p} \cdot \frac{22,3p \cdot (19,8p+1)}{(306,85p^2 + 22,3p + 1) \cdot (39,6p+1)} \end{aligned}$$

$$W_K(p) = -0,05 \cdot e^{-32,4p} \cdot \frac{22,3p \cdot (19,8p+1)}{(306,85p^2 + 22,3p + 1) \cdot (39,6p+1)}$$

Отриманий корегуючий зв'язок є фізично реалізованим.

Розкладемо передаточну функцію коригуючого зв'язку на типові ланки, складемо схему моделювання, отримаємо перехідну характеристику.

$$\begin{aligned} W_K(p) &= -0,05 \cdot e^{-32,4p} \cdot \frac{22,3p \cdot (19,8p+1)}{(306,85p^2 + 22,3p + 1) \cdot (39,6p+1)} = \\ &= -0,05 \cdot e^{-32,4p} \cdot \frac{22,3p}{39,6p+1} \cdot \frac{19,8p+1}{306,85p^2 + 22,3p + 1} \end{aligned}$$

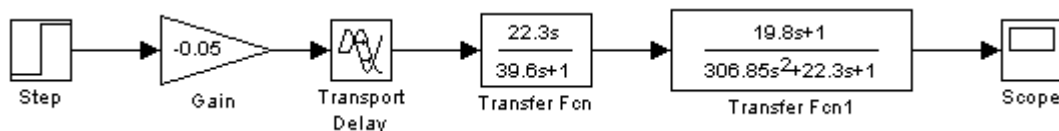


Рис. 3.18 – Структурна схема моделювання коригуючого зв'язку

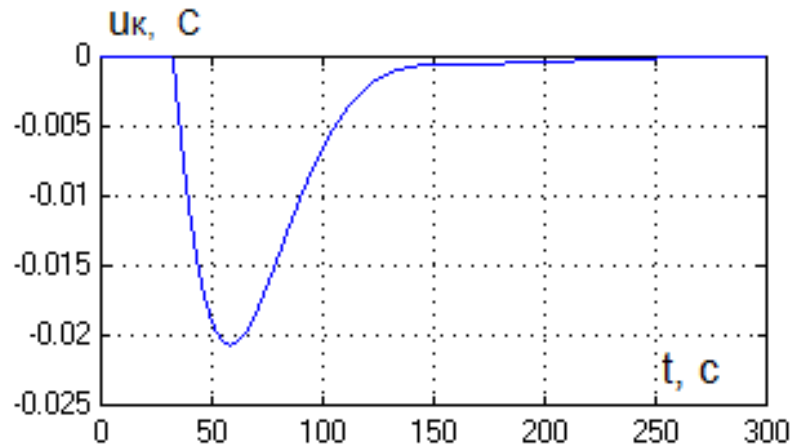


Рис. 3.19 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку

Отримана передаточна функція коригуючого зв'язку представлена занадто складною передаточною функцією, тому її доцільно спростити при збереження диференціюючих властивостей.

$$W_K(p) = -0,05 \cdot e^{-32,4p} \cdot \frac{22,3p}{39,6p + 1} \cdot \frac{19,8p + 1}{306,85p^2 + 22,3p + 1}$$

$$W_K(p) = 0,13 \cdot e^{-27,7p} \cdot \frac{41,8p \cdot (37,1p + 1)}{(58,1p + 1) \cdot (1588,4p^2 + 41,8p + 1)}$$

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

Отримаємо параметри спрощеного коригуючого зв'язку

$$K_K = -0,064; T_{K1} = 32,4; T_{K2} = 17,5.$$

Уточнимо параметри спрощеного коригуючого зв'язку. Для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку $W_K(p)$ скористаємося схемою моделювання, наведеною на рис. 3.20. Результати розрахунку наведено в рис. 3.21.

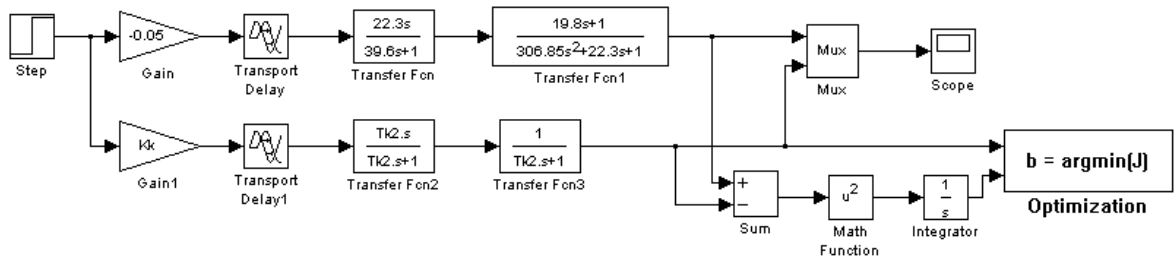
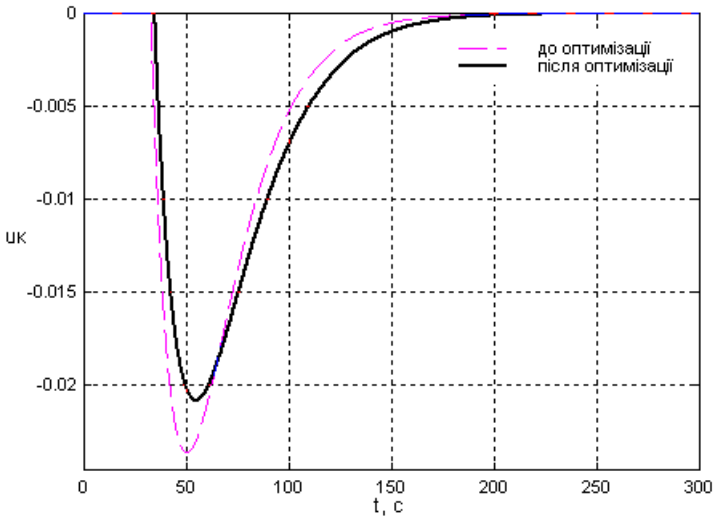


Рис. 3.20 – Схема моделювання для уточнення параметрів коригуючого зв’язку



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:	
Kk	-0.056379	-5	-0.064	0	до -	0.00081551
Tk1	34.4166	0	32.4	50	після -	0.00012168
Tk2	19.9751	1	17.5	200	оптимізації.	
					Кількість кроків процедури оптимізації:	
					максимальна -	1500
					фактична -	76

Рис. 3.21 – Результати уточнення параметрів спрощеного коригуючого зв’язку

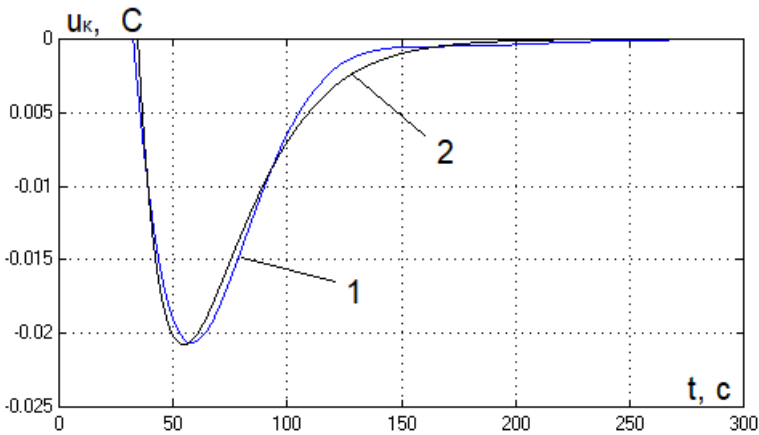


Рис. 3.22 – Перехідна характеристика коригуючого зв’язку: 1 – розрахункового, 2 – спрощеного

Проведемо оптимізацію на лаштувань коригуючи зв’язків у складі САР з параметрично оптимальними регуляторами. Схема моделювання автономної САР наведена на рис. 3.23, результати оптимізації – на рис. 3.24.

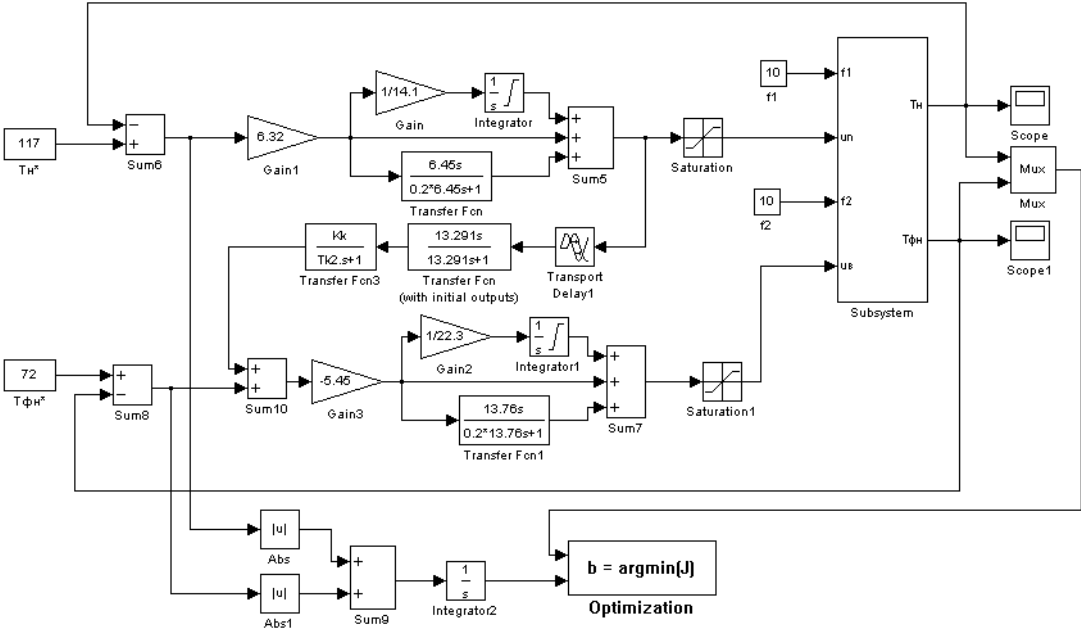


Рис. 3.23 – Схема моделювання автономної САР

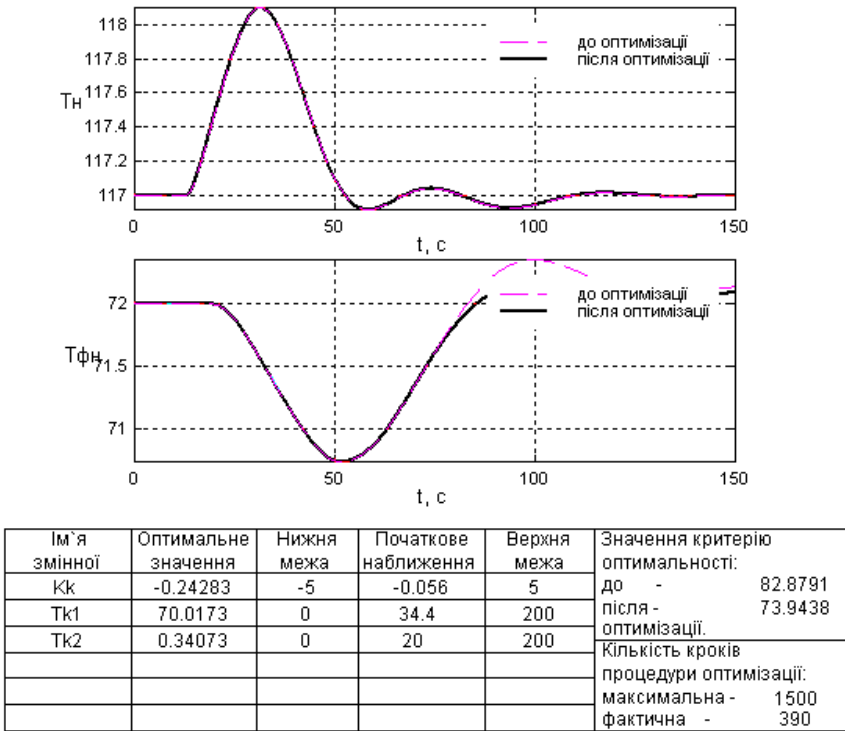


Рис. 3.24 –Результати оптимізації на лаштувань коригуючи зв’язків у складі автономної САР

Для подальшого підвищення динамічної точності САР було проведено спільну оптимізацію параметрів коригуючого зв'язку і регулятора температури охолодження начинки. Схема моделювання наведена на рис. 3.25, а результати оптимізації – на рис. 3.26.

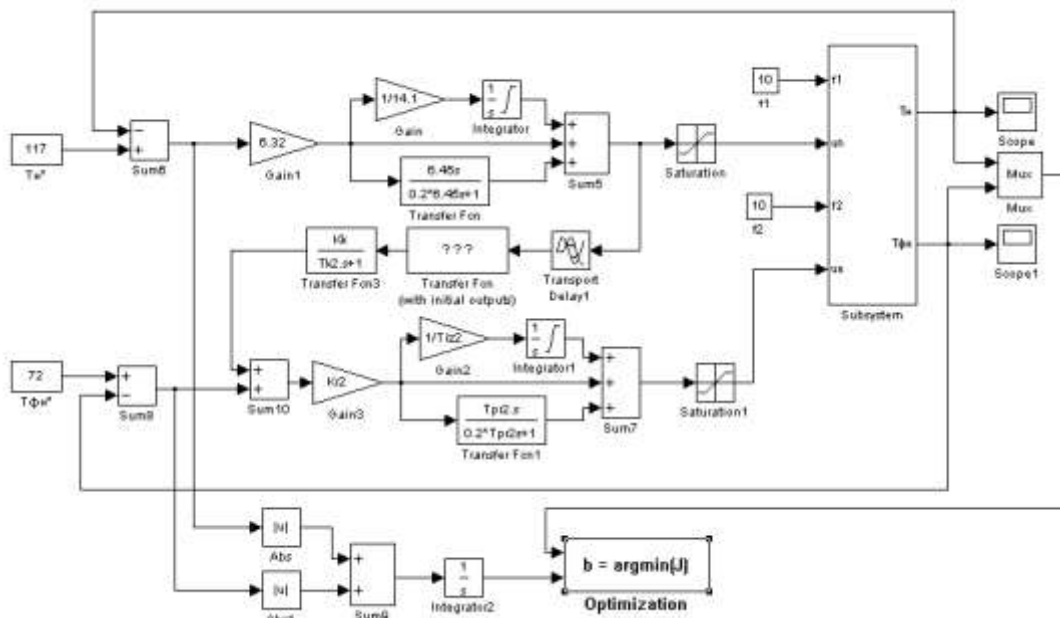
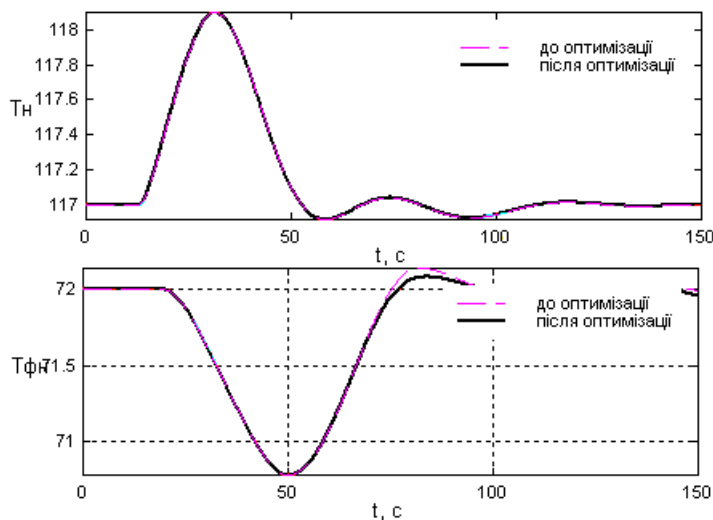


Рис. 3.25 – Схема моделювання автономної САР



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk	-0.25528	-5	-0.189603	5	до - 65.4047
Tk1	40.3878	0	43.3945	200	після - 64.7986
Tk2	30.1544	0	20.8709	200	оптимізації.
Kr2	-7.0663	-50	-7.33395	0	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	101.3727	1	56.8299	200	максимальна - 1500
Tpr2	20.3207	0	18.1374	100	фактична - 812

Рис. 3.26 –Результати оптимізації налаштувань коригуючого зв'язку і регулятора температури охолодження начинки у складі автономної САР

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

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК, отриманої в результаті оптимізації налаштувань коригуючого зв'язку наведені на рис. 3.27.

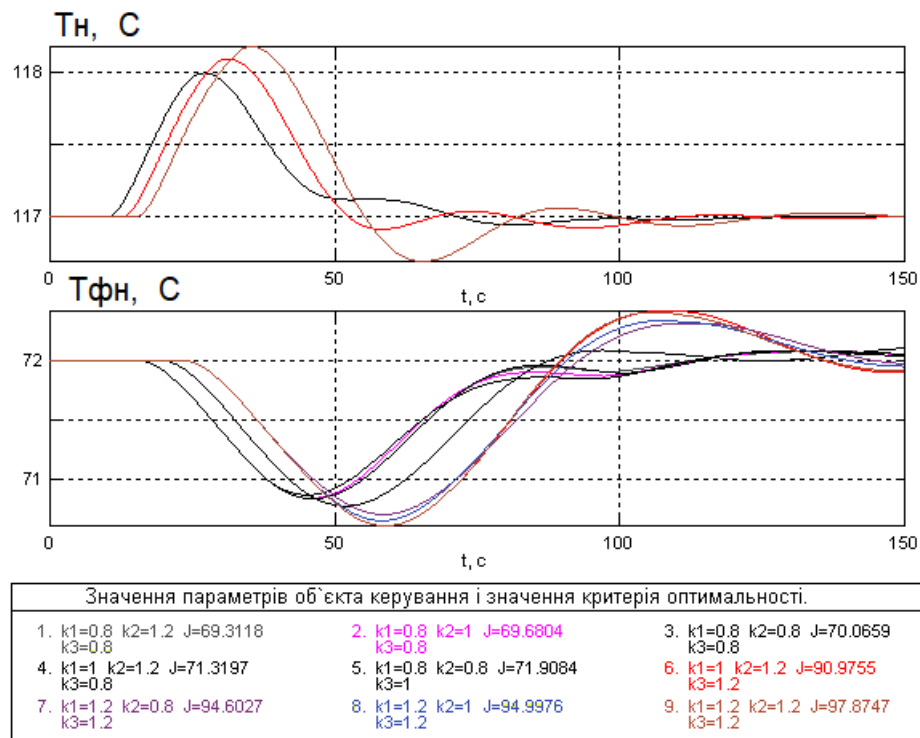


Рис. 3.27 – Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності після оптимізації налаштувань коригуючого зв'язку на грубість

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

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК, отриманої в результаті оптимізації налаштувань коригуючого зв'язку і регулятора температури охолодження начинки наведені на рис. 3.28.

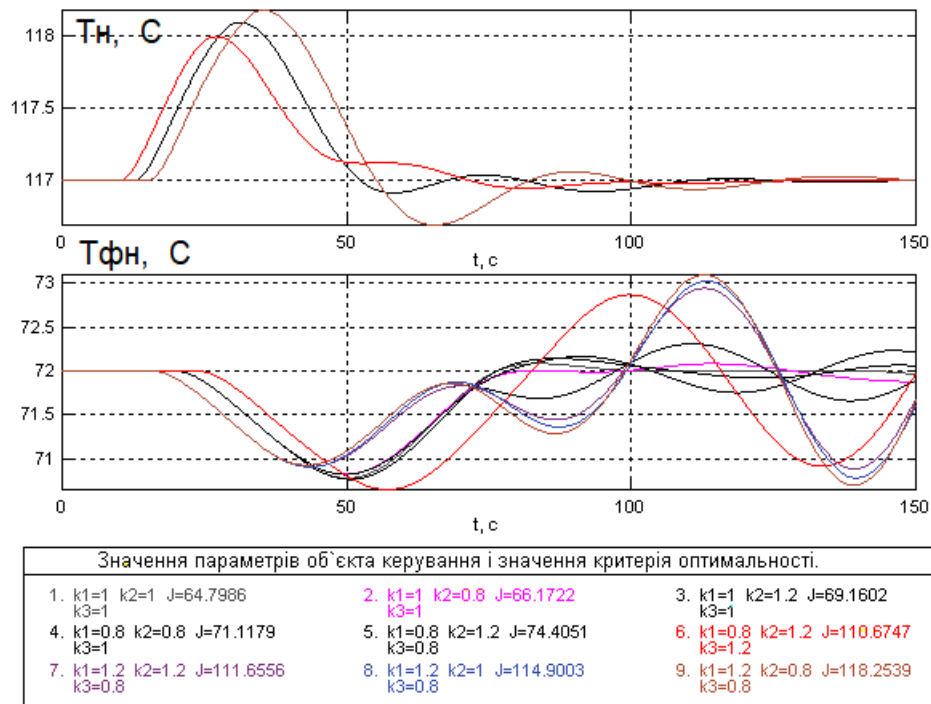


Рис. 3.28 – Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності після оптимізації налаштувань коригуючого зв'язку і регулятора температури охолодження начинки на грубість

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

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. 3.29. Результати порівняння наведені на рис. 3.30 і в таблиці 3.4.

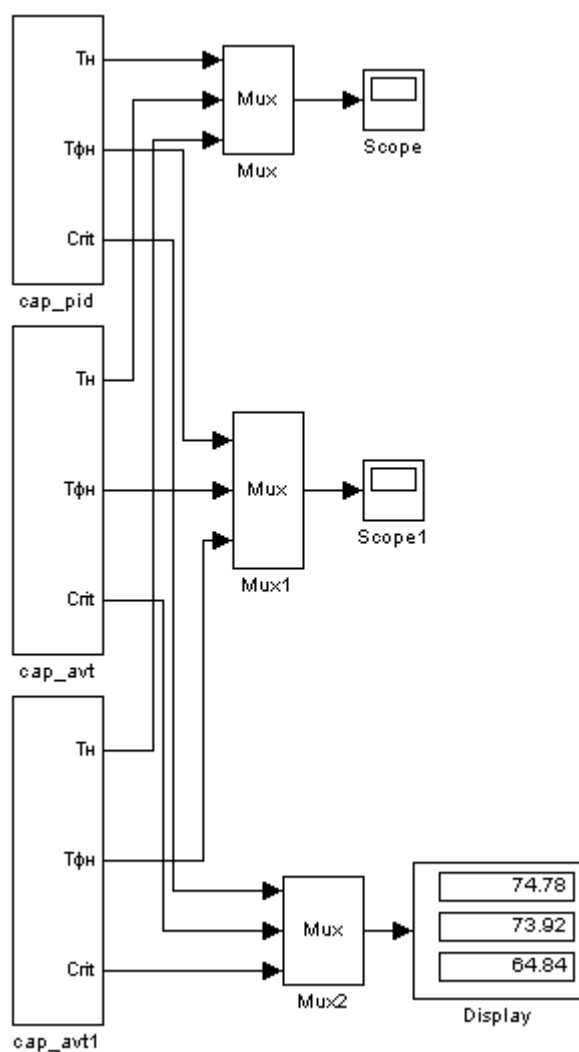


Рис. 3.29 – Структурну схему моделювання для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

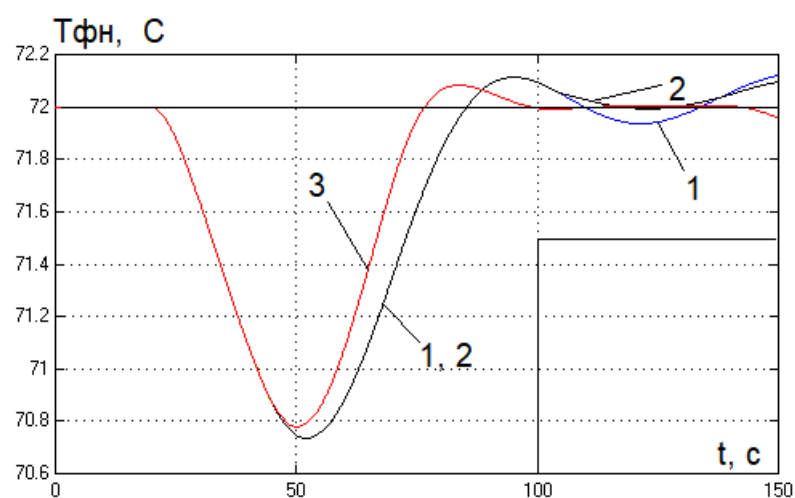


Рис. 3.30 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури (1) і САР підвищеної динамічної точності (2, 3)

Таблиця 3.4 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Варіант САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_H^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп1}}, \text{с}$	$\Delta T_{\text{фн}}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пп2}}, \text{с}$	
Базової структури	1,1	43,4	1,26	72,7	74,78
Автономна (груба)	1,1	43,4	1,26	72,7	73,92
Автономна (негруба)	1,1	43,4	1,22	66,7	64,84

Як видно з результатів порівняння, САР підвищеної динамічної точності за усіма показниками є трохи кращою. Особливо слід зазначити несуттєве покращення якості регулювання температури охолодження начинки.

3.5 Висновки за розділом

САР з ПІ- та ПІД-регуляторами відповідає гранично припустимим вимогам.

Для ПІ-регуляторів коефіцієнт передачі K_{p1} збільшився на 62,5%, час ізодрому T_{I31} зменшився на 54%, коефіцієнт передачі K_{p2} зменшився на 86%, час ізодрому T_{I32} зменшився на 41%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_H^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 4%, час перехідного процесу за T_H зменшився на 54%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_{\text{фн}}^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 5%, час перехідного процесу за $T_{\text{фн}}$ зменшився на 58%, інтегральний показник якості зменшився на 48%.

Для ПІД-регуляторів коефіцієнт передачі K_{p1} збільшився на 58%, час ізодрому T_{I31} зменшився на 58%, час упередження $T_{\text{уп1}}$ зменшився на 21%, коефіцієнт передачі K_{p2} зменшився на 53%, час ізодрому T_{I32} зменшився на 60%, час упередження $T_{\text{уп2}}$ збільшився на 0,5%, максимальне динамічне

відхилення $\Delta T_n^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 3%, час перехідного процесу за T_n зменшився на 47%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_{fn}^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 4,5%, час перехідного процесу за T_{fn} зменшився на 49%, інтегральний показник якості зменшився на 55%.

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 $\Delta T_n^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 8%; час перехідного процесу за T_n зменшився на 15%, максимальне динамічне відхилення $\Delta T_{fn}^{\text{МАКС}}$ зменшилося на 9%; час перехідного процесу за T_{fn} зменшився на 14%, інтегральний показник якості зменшився на 30%.

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 $\Delta T_n^{\text{МАКС}}$ складає 10%; за часом перехідного процесу (T_n) 17%; за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_{fn}^{\text{МАКС}}$ складає 11%; за часом перехідного процесу (T_{fn}) 16%; за критерієм 19%.

Для САР з ПІД-регуляторами різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» для керування параметрами ОК за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_n^{\text{МАКС}}$ складає 16%; за часом перехідного процесу (T_n) 21%; за максимальним динамічним відхиленням $\Delta T_{fn}^{\text{МАКС}}$ складає 16%; за часом перехідного процесу (T_{fn}) 18%; за критерієм 28%.

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 ПД-регулятором є кращою, ніж САР з П-регулятором, але САР з ПД-регуляторами менш грубою.

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

У результаті підвищення динамічної точності шляхом побудови САР Тфн автономної структури прямі показники якості автономної САР у порівнянні з САР базової структури не змінилися, а інтегральний показник якості зменшився на 1%. При цьому автономна САР залишилася грубою. Спільна оптимізація параметрів коригуючого зв'язку і регулятора температури Тфн призвела до зменшення максимального динамічного відхилення на 3%, зменшення часу перехідного процесу за Тфн на 8%, зменшення інтегрального показника на 13% у порівнянні з САР базової структури та до втрати грубості.

САР підвищеної динамічної точності автономної структури дала невелике покращення інтегрального показника якості при збереженні грубості і трохи більші покращення показників якості при втраті 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.

Отже, 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 приготування фруктово-ягідної начинки зводиться до перетворення фруктово-ягідної суміші в готову начинку з вологістю 45-50% шляхом нагрівання до $115...118^{\circ}\text{C}$ у варочній колонці, а потім охолодження до $70...75^{\circ}\text{C}$ у темперуючій машині. Технологічна схема процесу варки фруктово-ягідної начинки для вирішення задач логічного керування приведена на рисунку 4.1.

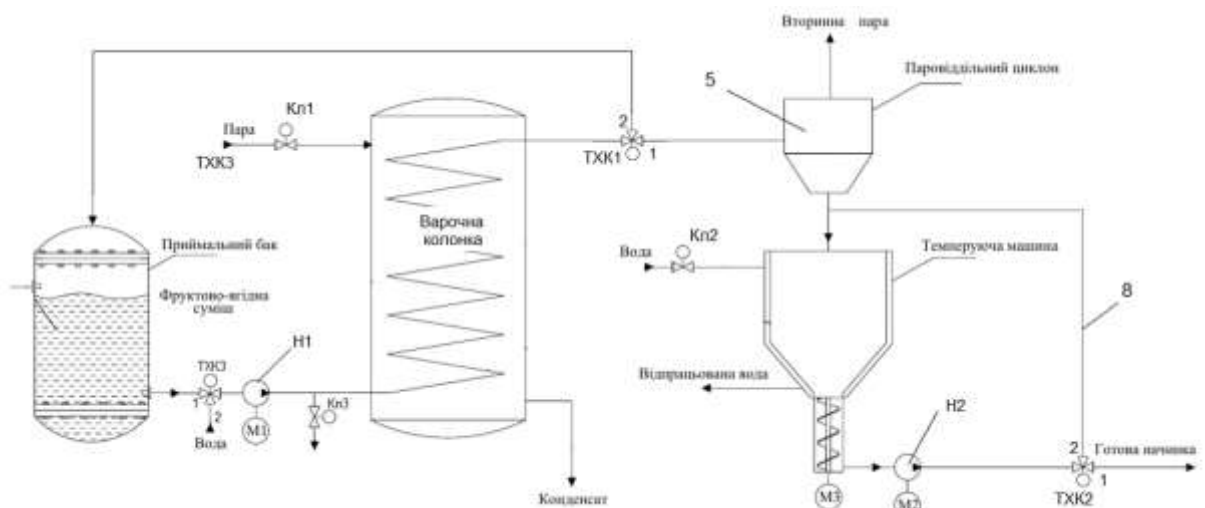


Рис. 4.1 – Технологічна схема ділянки виробництва фруктово-ягідної начинки для вирішення задачі логічного керування

Пуск установки в роботу здійснюється наступним чином. Після перевірки умов, необхідних для пуску, та передпускової звукової сигналізації потрібно прогріти варочну колонку гріючою парою, потім в умовах рециркуляції продукту заповнити колонку сумішшю. Надалі в режимі рециркуляції колонка виводиться на заданий температурний режим. Зварена суміш направляється в паровий циклон і далі до темперуючої машини. Після заповнення темперуючої

машини до номінального рівню в умовах рециркуляції продукту до рубашки темперуючої машини подають охолоджуючу воду і машину виводять на заданий температурний режим. Відтемперовану начинку виводять з темперуючої машини у подальшу переробку. Блок схему регламенту на пуск ділянки приведено на рис. 4.2 .

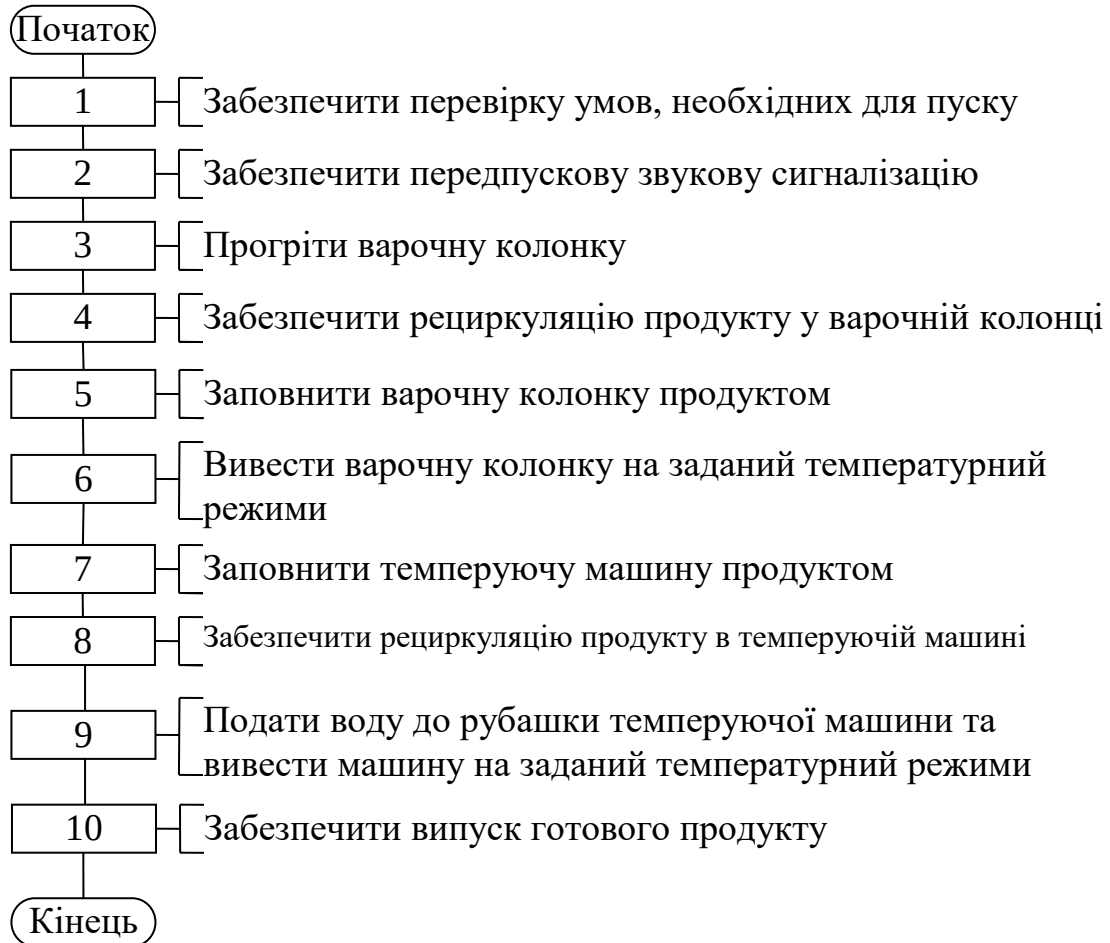


Рис. 4.2 – Блок-схема регламент на пуск ділянки виробництва фруктовоягідної начинки

Нормальна зупинка установки розпочинається з того, що потрібно припинити подачу суміші до варочної колонки, а наявний у варочній колонці продукт витіснити водою. Потім потрібно припинити подачу води до варочної колонки, а наявну воду злити з змішувача у дренаж. Потім потрібно виробити продукт, наявний у темперуючій машині, припинити подачу води до рубашки машини і остаточно злити продукт з темперуючої машини. Блок схема

регламенту на нормальну зупинку ділянки виробництва фруктово-ягідної начинки приведена на рис. 4.3.

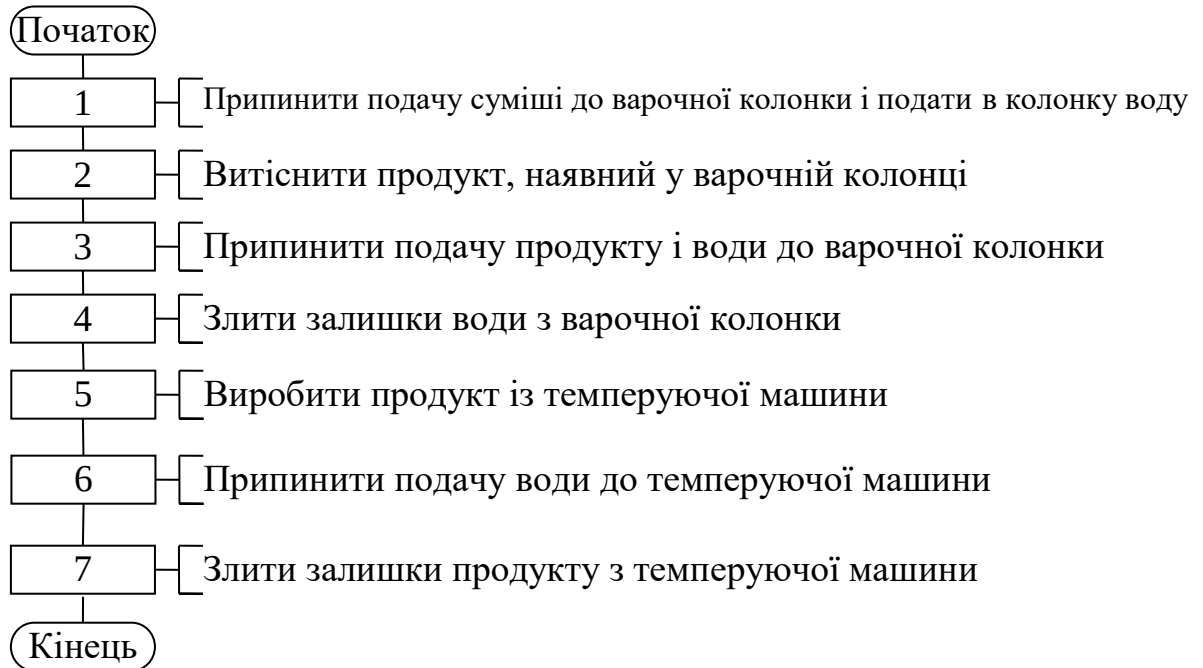


Рис. 4.3 – Блок-схема регламенту на технологічну зупинку ділянки виробництва фруктово-ягідної начинки

4.2 Розробка алгоритму автоматичного керування технологічним циклом ділянки виробництва фруктово-ягідної начинки

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

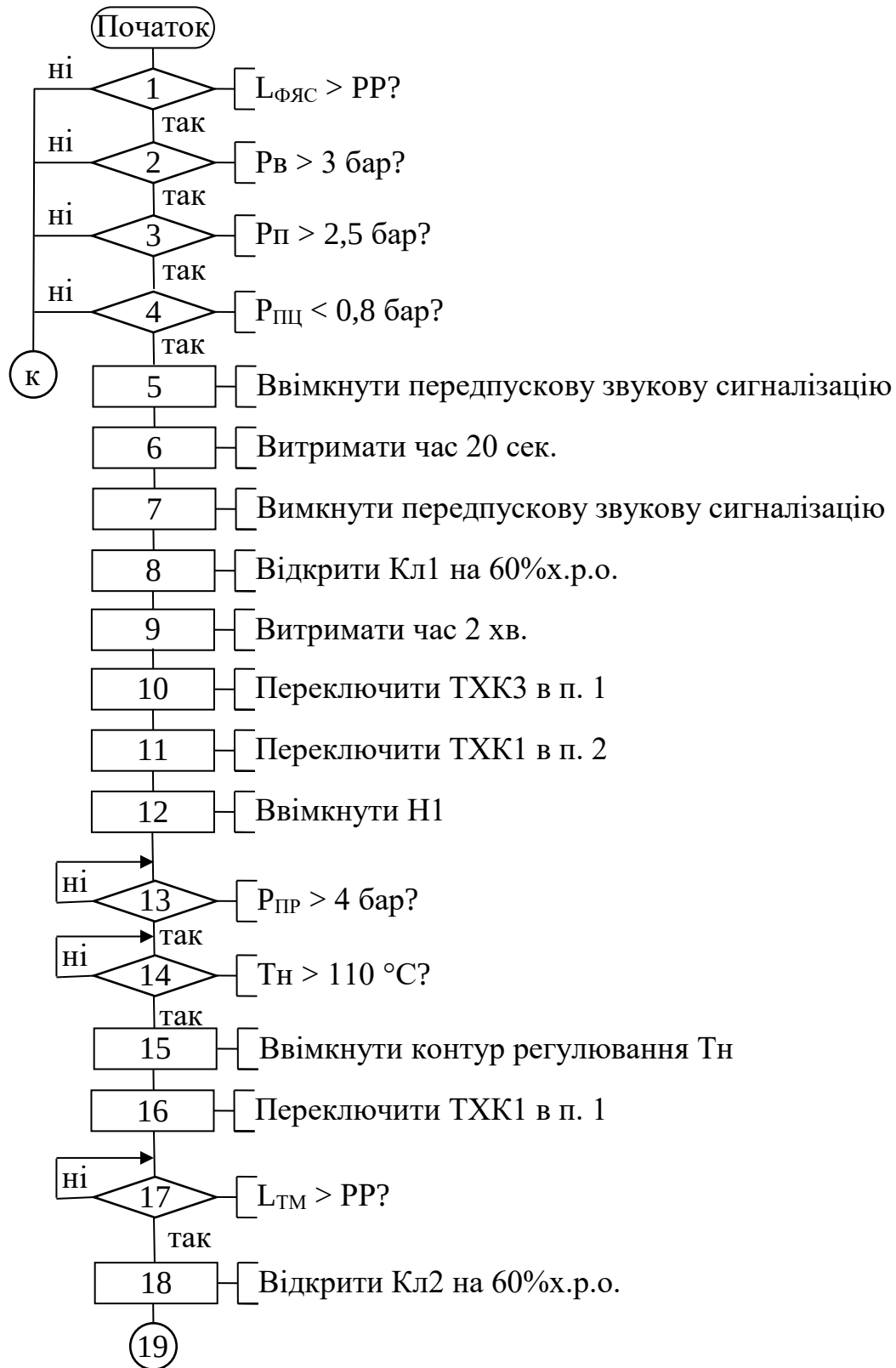


Рис. 4.4 – Блок-схема алгоритму логічного пуску ділянкою виробництва
фруктово-ягідної начинки

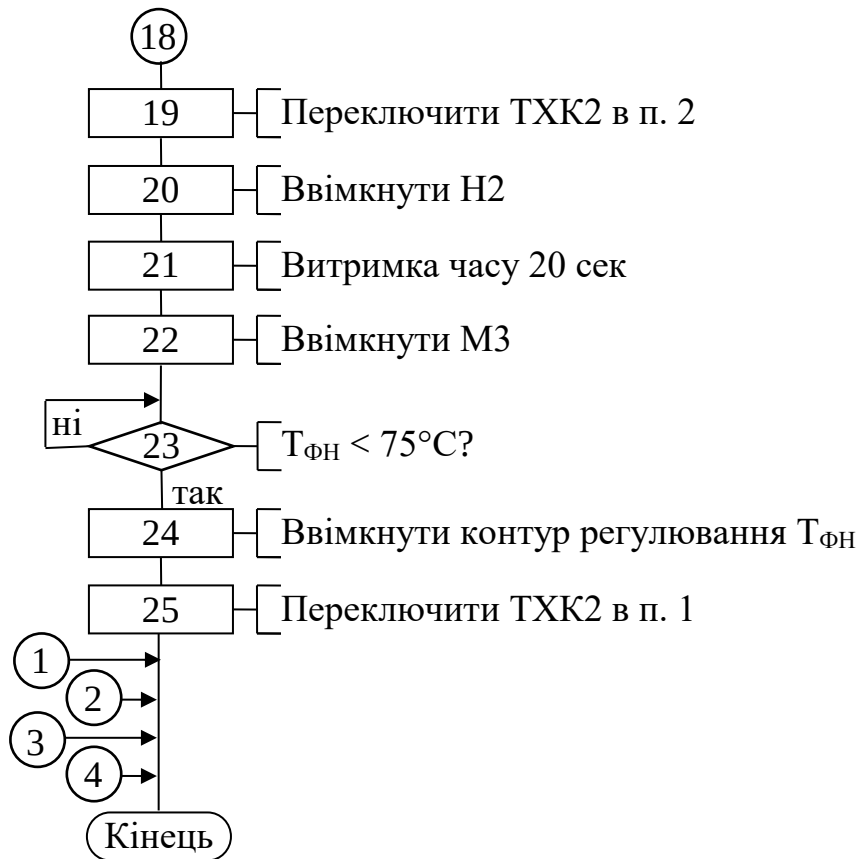


Рис. 4.4 (закінчення) – Блок-схема алгоритму логічного пуску ділянкою виробництва фруктово-ягідної начинки

Автоматичний пуск ділянки технологічного процесу здійснюються наступним чином. Перевірка умов необхідних для пуску зводиться до перевірки наявності робочого рівню фруктово-ягідної суміші в приймальному баку, робочого тиску води в водопроводі і пари і паропроводі, та наявності розрідження в паровому сепараторі. Передпускова звукова сигналізація зводиться до вмикання звукового сигналізатора на 20 сек. Для прогрівання варочної колонки відкриваємо Кл1 на 60%х.р.о. на час 2 хв. Для заповнення варочної колонки продуктом в режимі рециркуляції перереключаємо ТХК3 в п. 1, а ТХК1 в п. 2, вмикаємо насос Н1 і контролюємо досягнення тиском продукту після варочної колонки значення 4 бар. Для виведенням варочної колонки на заданий температурний режим контролюємо досягнення температурою продукту після варочної колонки значення 110°C .

Після цього вмикаємо контур регулювання температури нагрівання начинки T_n . Для подачі продукту до темперуючої машини перемикаємо ТХК1 в п. 1. Заповнення темперуючої машини продуктом контролюють по досягненню робочого рівню. Після цього подаємо воду до водяної рубашки темперуючої машини, відкривши клапан Кл2 на 60%х.р.о. Для забезпечення руху продукту в темперуючій машині в режимі рециркуляції перемикаємо ТХК2 в п. 2, вмикаємо насос Н2, витримуємо час 20 сек. на запуск насосу, і вмикаємо випускний шнек темперуючої машини М3. Для виведення темперуючої машини на заданий температурний режим контролюємо зниження температури начинки нижче $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, після цього вмикаємо контур регулювання температури начинки $T_{\text{ФН}}$. Для випуску начинки з темперуючої машини у подальшу переробку перемикаємо ТХК2 в п. 2.

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

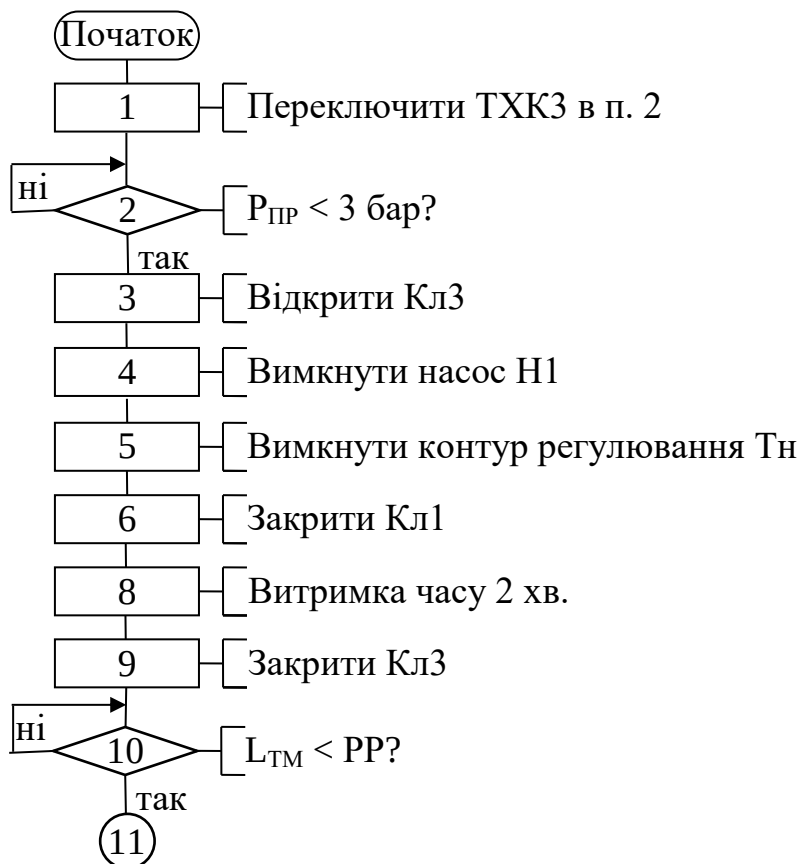


Рис. 4.5 – Блок-схема алгоритму автоматичного керування технологічною зупинкою ділянки виробництва фруктово-ягідної начинки

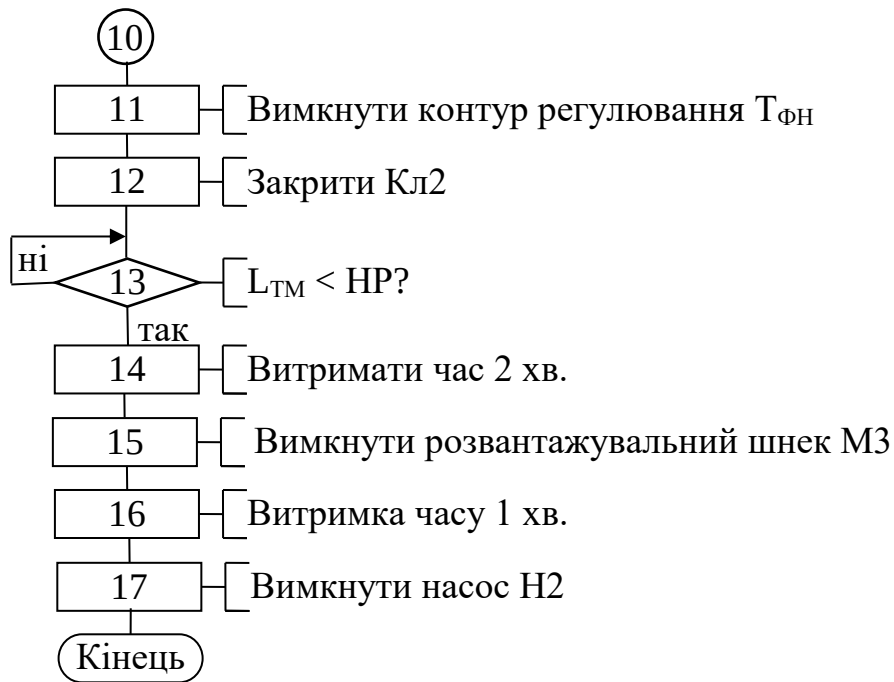


Рис. 4.5 (закінчення) – Блок-схема алгоритму автоматичного керування технологічною зупинкою ділянки виробництва фруктово-ягідної начинки

Зупинка ділянки приготування фруктово-ягідних начинок розпочинається з припинення подачі суміші до варочної колонки. Для цього ТХКЗ перемикається в п. 2 і насос Н1 починає нагнітати до варочної колонки воду. Про витіснення продукту із варочної колонки судимо по різкому падінню тиску в продуктопроводі до 3 бар. Щоб не припустити подачі води до темперуючої машини, відкриваємо КЗ і вода починає зливатися в дренаж. Вимикаємо насос Н1. Для припинення подачі пари до варочної колонки вимикаємо контур регулювання T_n і закриваємо КЛ1. Для зливання води зі змішувача витримуємо час 2 хв., після чого закриваємо КЛ3. Про вироблення продукту з темперуючої машини судимо по зниженню рівню продукту у нижче робочого значення (РР). Для припинення подачі води до рубашки темперуючої машини вимикаємо контур регулювання $T_{\text{ФН}}$ і закриваємо клапан КЛ2. Про вироблення залишку продукту із темперуючої машини судимо по зниженню рівню нижче нижнього рівню. Після цього припиняємо випуск начинки з темперуючої машини вимкнувши розвантажувальний шнек М3 ф насос Н2 з

витримками часу.

4.3 Висновки за розділом

В ході розробки алгоритмів логічного керування ділянкою виробництва фруктових начинок було складено регламенти функціонування та алгоритми автоматичного керування пуском та технологічною зупинкою ділянки технологічного процесу.

5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі

В попередніх розділах були розглянуті алгоритми регулювання та логіко-програмного керування. Мета даного розділу – обрати технічні засоби для реалізації цих алгоритмів керування. Самі засоби повинні задовольняти багатьом вимогам, зокрема: надійність, точність, безпека, ремонтпридатність, простота обслуговування, можливість тиражування і розвитку, екологічна безпека, вартість.

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 ділянки варки фруктово-ягідних начинок знаходяться опалювальному приміщенні цеху. Цю ділянку можна віднести до пожежо- та вибухобезпечної, оскільки відсутні чинники, які можуть викликати вибух або пожежу.

Датчики, регулюючі органи та виконавчі механізми системи керування розміщуються безпосередньо на обладнанні і трубопроводах, по яким подається сировина, вода 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 варки начинок. У відповідності з «Правилами улаштування електроустановок» це приміщення можна віднести до категорії «вологе приміщення, в якому відносна вологість повітря є більше ніж 60 %, але не перевищує 75 %».

Щодо безпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

- а) приміщення без підвищеної безпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку;
- б) приміщення з підвищеною безпекою, 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 варки начинок, слід віднести до приміщення з підвищеною безпекою ураження людей електричним струмом, оскільки наявні пункти 2 і 4.

Датчики САР контактують з наступними речовинами:

- начинка з температурою до 115-118 °С при нагріві та 70-75 °С при охолодженні ;
- пара з температурою до 150 °С.

Регулюючі клапани контактують з наступними речовинами:

- пара з температурою 150 °С;
- вода з температурою до 20 °С.

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

- з матеріалами клапанів та навколишнім повітрям цеху з температурою 25...30 °С.

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

Для виміру температури начинки в трубі після нагріву застосований повехневий датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П) в корпусі 2-48а, діапазон 100-150 °С. Монтажна частина може бути вигнута у будь-якому напрямку. Для виміру температури начинки при охолодженні застосований аналогічний датчик в корпусі 1-28.

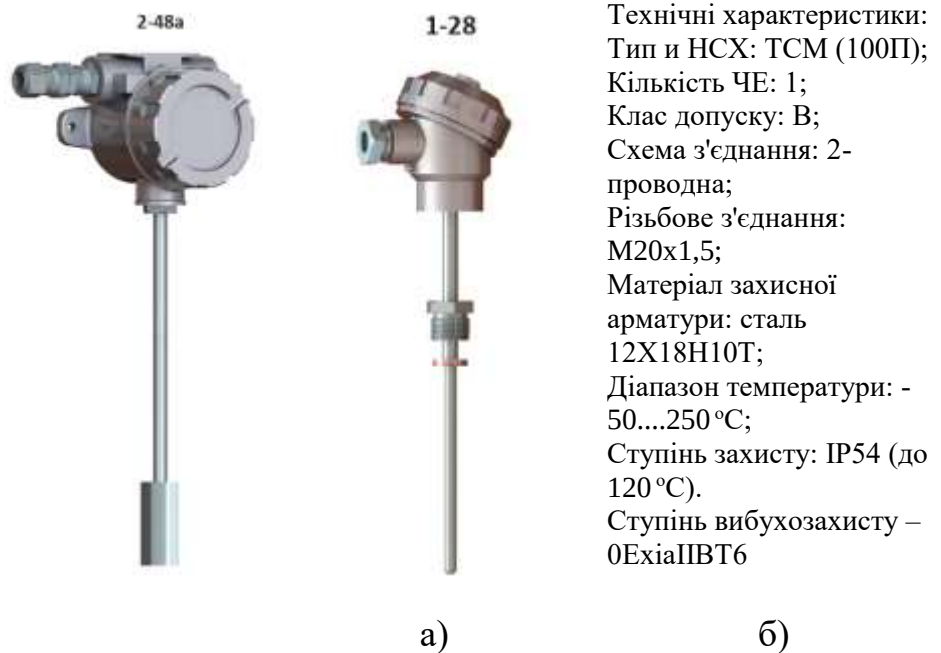


Рис. 5.1 – Датчик температури Тера а) зовнішній вигляд;
 б) технічні характеристики

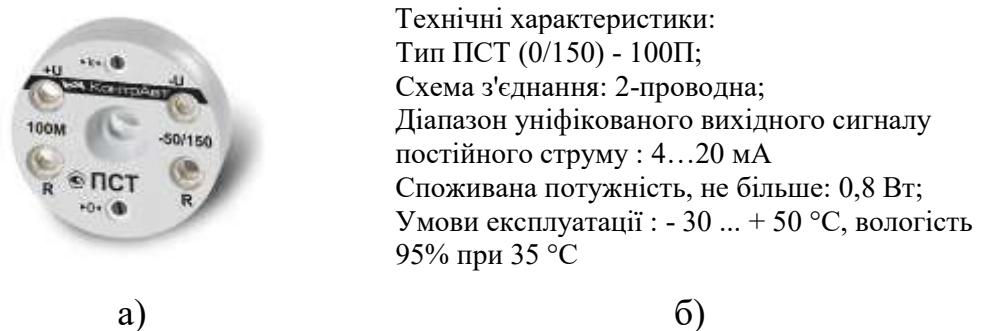


Рис. 5.2 – Нормуючий вимірювальний перетворювач а) зовнішній вигляд;
 б) технічні характеристики

Для вимірювання тиску гріючої пари із діапазону 0...10 бар застосований датчик-реле тиску Danfoss BCP4H. Його зовнішній вигляд і технічні характеристики наведені на рисунку 5.3.



Рис. 5.3 – Датчик-реле тиску Danfoss BCP4H: а) зовнішній вигляд;
б) технічні характеристики

Для виміру тиску начинки перед насосом застосований датчик-реле тиску Danfoss KP44. Його зовнішній вигляд і технічні характеристики наведені на рисунку 5.4.



Технічні характеристики:

Температура середовища 100 °C;

Тиск захисту 0,2-6 бар;

Степінь захисту IP44;

Струм комутації AC1 – 16 А

Рис. 5.4 – Датчик-реле тиску Danfoss KP44: а) зовнішній вигляд;
б) технічні характеристики

Для виміру рівня начинки в баку застосований ультразвуковий датчик рівня EASYTREK SP 500.



а)

Технічні характеристики:

Transducer / enclosure materials	PP, PVDF
Process temperature	PP, PVDF transducers: -30 °C ... +90 °C [-20 °F ... 190 °F]
Ambient temperature	-30 °C ... +80 °C [-20 °F ... 175 °F]
Pressure ¹⁾ (Absolute)	0.05 – 0.3 MPa (0.5 – 3 bar) [7.25 psi – 43.5 psi]
Seals	PP transducer: EPDM. All other transducer versions: FPM
Ingress protection	IP68
Power supply	10 ³⁾ – 36 V DC with HART communication: 40 mW – 720 mW. Galvanic isolation, protection against surge transients
Accuracy ²⁾	± (0.1% measured + 0.025% max.) or ± (0.05% max.) whichever is greater
Resolution	Depending on the measured distance: <2 m: 1 mm, 2 – 5 m: 2 mm, 5 – 10 m: 5 mm, >10 m: 10 mm [<6.5 ft: 40 mil, 6.5 ft – 16 ft: 78 mil, 16 ft – 32 ft: 200 mil, >32 ft: 400 mil]
Outputs	Analogue: 4 – 20 mA, (3.9 – 20.5 mA), $R_{out} = (U_A - 10 V) / 0.02 A$. Galvanic isolation, protection against surge transients SPDT relay, 30 V / 1 A DC; 48 V / 0.5 A AC Serial communication: HART interface (terminal resistor ≥ 250 Ohm) Programming / diagnostic interface: 3.3 V LVD5, 100 mA max., Galvanic isolated
Electrical connection	6 x 0.5 mm ² [20 AWG] shielded cable Ø6 mm x 5 m (available max. length 30 m)
Electrical protection	Class III SELV

б)

Рис. 5.5 – Датчик рівня EASYTREK SP 500:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

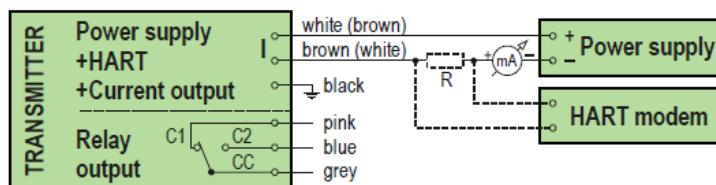


Рис. 5.6 – Схема зовнішніх підключень датчика рівня EASYTREK SP 500

5.3 Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

Для зміни витрат гріючої пари та охолоджуючої води використаємо регулюючий клапан RV-210 DN32 PN16 з електроприводом RTN 2 Ekorex, сигнал керування 4...20 мА.



Технічні характеристики:
вхідний сигнал 4...20 мА;
перестановочне зусилля 2 кН;
живлення 230 V AC
ступінь захисту IP 54;

Рис. 5.7 – Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики клапану RV-210

Для переривання потоку пари використаний електромагнітний клапан SV-SH-ES-22NC-50, сигнал керування 0-220 V AC.



Технічні характеристики високотемпературних клапанів SV-SH

Конструкція	Двобічний двопозиційний нормально закритий клапан з одностороннім пілотним ел. управлінням	
Матеріали	Нержавіюча сталь, Teflon	
Приєднання	Різьбове	G2"
	Фланцеве	F25, F32, F40, F50
Кріплення	Вертикальне	
Діапазон робочих температур	від 0 до 250° C	
Напруга живлення	AC 220В, AC 110В (потужність 33VA), DC 24В (потужність 24W)	
Допустима зміна напруги живлення	±10%	
Робоче середовище	Повітря, вода, пар та інші речовини, сумісні з матеріалами клапану	

Рис. 5.8 – Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики клапану SV-SH-ES-22NC-50

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

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

Табл. 5.1 – 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 начинки при нагріві	A	I	4...20 mA DC
2	Температура начинки при охолодженні	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 М2	D	I	24 V DC
8	Сигнал перемикача режиму М2	D	I	24 V DC
9	Сигнал стану авт.вимикача М3	D	I	24 V DC
10	Сигнал стану контактора М3	D	I	24 V DC
11	Сигнал перемикача режиму М3	D	I	24 V DC
12	Сигнал стану авт.вимикача М4	D	I	24 V DC
13	Сигнал стану контактора М4	D	I	24 V DC
14	Сигнал перемикача режиму М4	D	I	24 V DC
15	Сигнал тиску гріючої пари	D	I	24 V DC
16	Сигнал рівня начинки в баку	D	I	24 V DC
17	Сигнал керування М1	D	O	24 V DC
18	Сигнал керування М2	D	O	24 V DC
19	Сигнал керування М3	D	O	24 V DC
20	Сигнал керування М4	D	O	24 V DC
21	Сигнал керування відсічним клапаном пари	D	O	24 V DC
22	Сигнал керування регулюючим клапаном гріючої пари	A	O	4...20 mA DC
23	Сигнал керування регулюючим клапаном охолоджуючої води	A	O	4...20 mA DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 2, AO – 2, DI – 14, DO – 5

Оскільки технологічне обладнання та допоміжне устаткування розташовуються в одному приміщенні компактно, тому виберемо централізовану схему розміщення модулів системи керування.

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. 5.9).

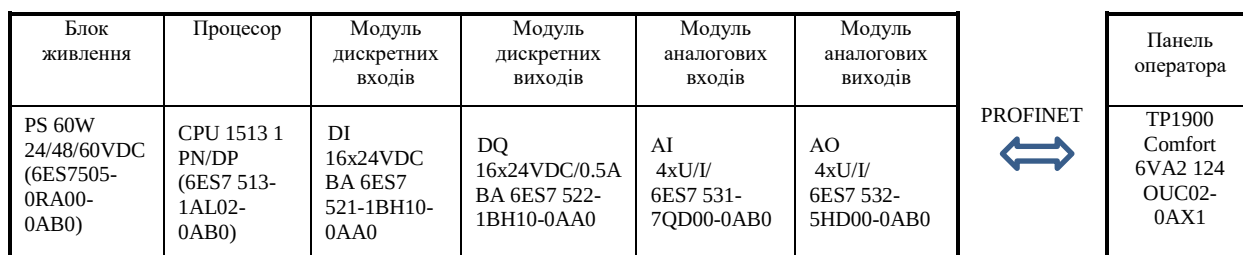


Рис. 5.9 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

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
Main 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 A²s
Power	
Infeed power to the backplane bus	10 W
Power consumption from the backplane bus (balanced)	5.5 W
Power loss	
Power loss, typ.	5.7 W
Memory	
Number of slots for SIMATIC memory card	1
SIMATIC memory card required	Yes
Work memory	
• integrated (for program)	300 kbyte
• integrated (for data)	1.5 Mbyte
Load memory	
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	32 Gbyte
Backup	
• maintenance-free	Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	40 ns
for word operations, typ.	45 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 UDAs
OB	
• Number range	1 ... 60 000; subdivided into: number range that can be used by the user: 1 ... 99 999, and number range of OBs created via SFC 66: 60 000 ... 60 999
• 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 cyclic 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	00
• Number of DPV1 alarm OBs	3
• Number of bi-directional mode OBs	1
• Number of technology synchronous alarm OBs	2
• Number of startup OBs	100

Рис. 5.10 – 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

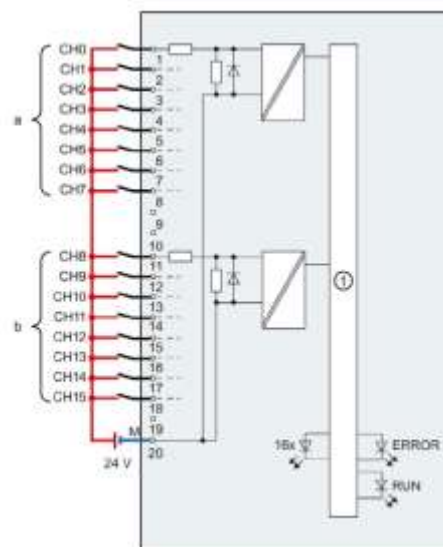


Рис. 5.11 – Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

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

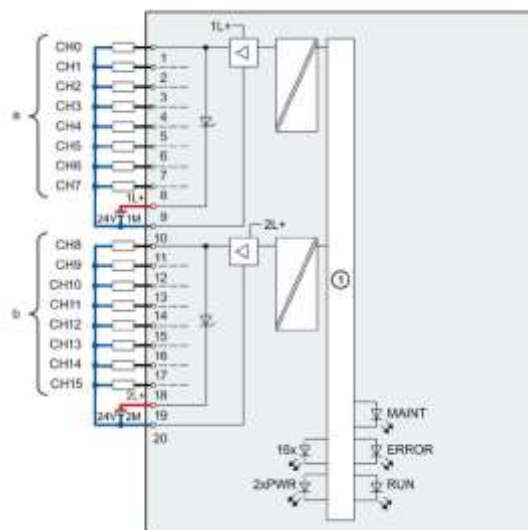


Рис. 5.12 – Технічні характеристики та схема підключень

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

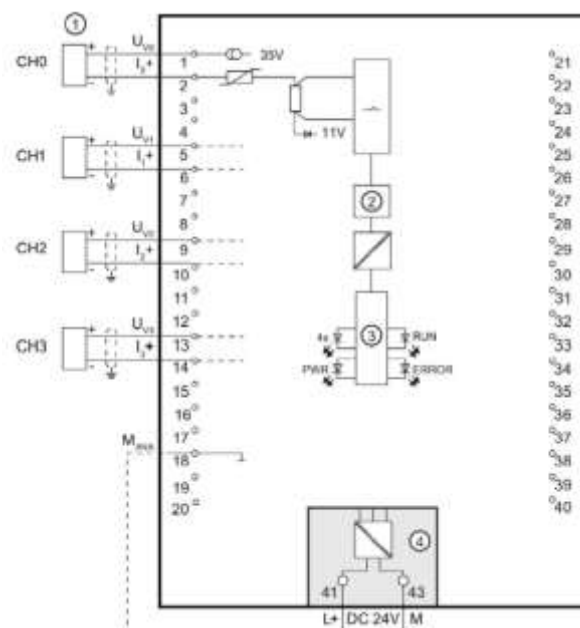


Рис. 5.13 – Технічні характеристики та схема підключень датчиків сили струму до входів 6ES7 531-7QD00-0AB0

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

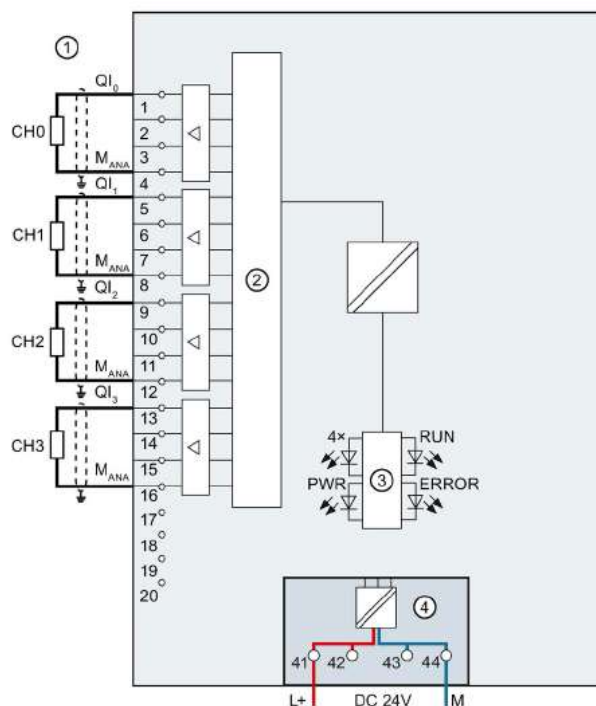


Рис. 5.14 – Технічні характеристики та схема формування уніфікованого струму на виходах 6ES7 532-5HD00-0AB0

5.5 Висновки за розділом

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

6. 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 лінії приготування фруктово-ягідних начинок 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)

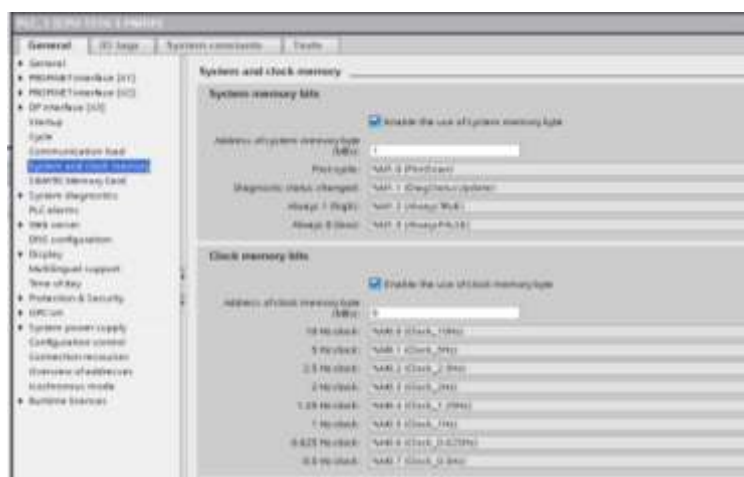


Рис. 6.2 – Конфігурування системних областей пам'яті CPU

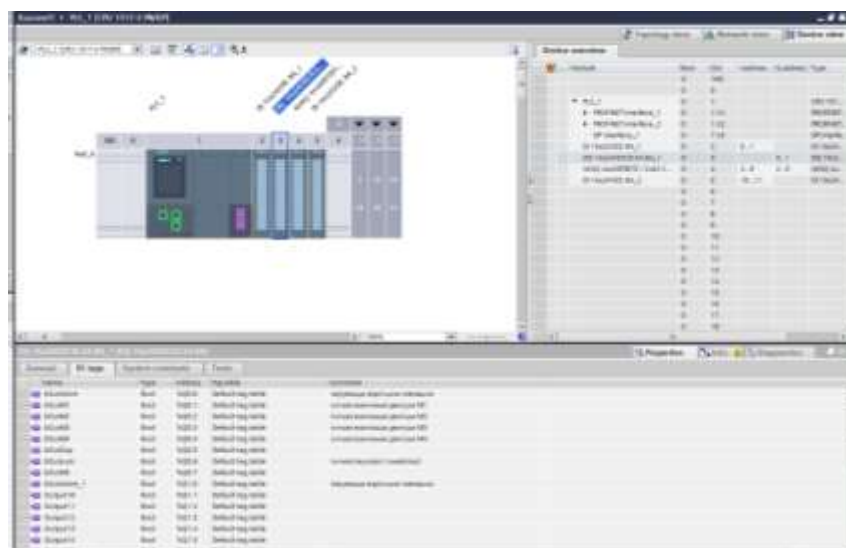


Рис. 6.3 – Приклад визначення модулів ПЗО

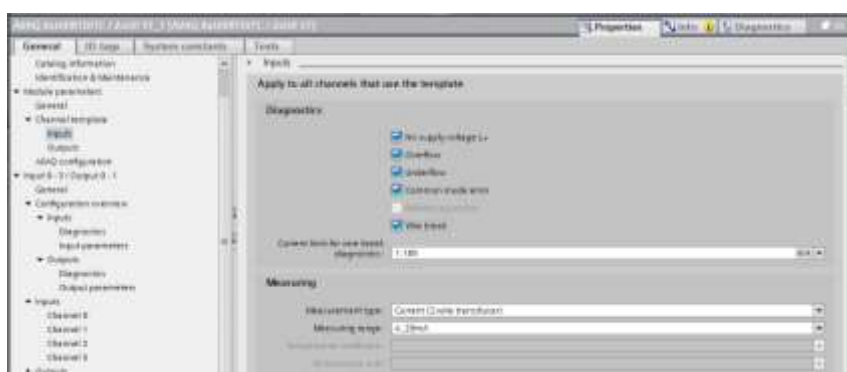


Рис. 6.4 – Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни для аналогового модуля

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

Name	Data type	Address	Input	Output	Comments
Suction	Real	1620.0			Pressure sensor output
Discharge	Real	1620.1			Pressure sensor output
Temperature	Real	1620.2			Temperature sensor output
Pressure	Real	1620.3			Pressure sensor output
Flow	Real	1620.4			Flow sensor output
Level	Real	1620.5			Level sensor output
Speed	Real	1620.6			Speed sensor output
Position	Real	1620.7			Position sensor output
Angle	Real	1620.8			Angle sensor output
Acceleration	Real	1620.9			Acceleration sensor output
Output1	Real	1621.0			Output sensor output
Output2	Real	1621.1			Output sensor output
Output3	Real	1621.2			Output sensor output
Output4	Real	1621.3			Output sensor output
Output5	Real	1621.4			Output sensor output
Output6	Real	1621.5			Output sensor output
Output7	Real	1621.6			Output sensor output
Output8	Real	1621.7			Output sensor output
Input1	Real	1621.8			Input sensor output
Input2	Real	1621.9			Input sensor output
Input3	Real	1622.0			Input sensor output
Input4	Real	1622.1			Input sensor output
Input5	Real	1622.2			Input sensor output
Input6	Real	1622.3			Input sensor output
Input7	Real	1622.4			Input sensor output
Input8	Real	1622.5			Input sensor output

Рис. 6.5 – Приклад вікна таблиці тегів САК процесу приготування фруктових начинок

6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

В дереві каталогу проекту створюємо дві папки: Cyclic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи регулювання температур нагрівання та охолодження начинки, та Logic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування.

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

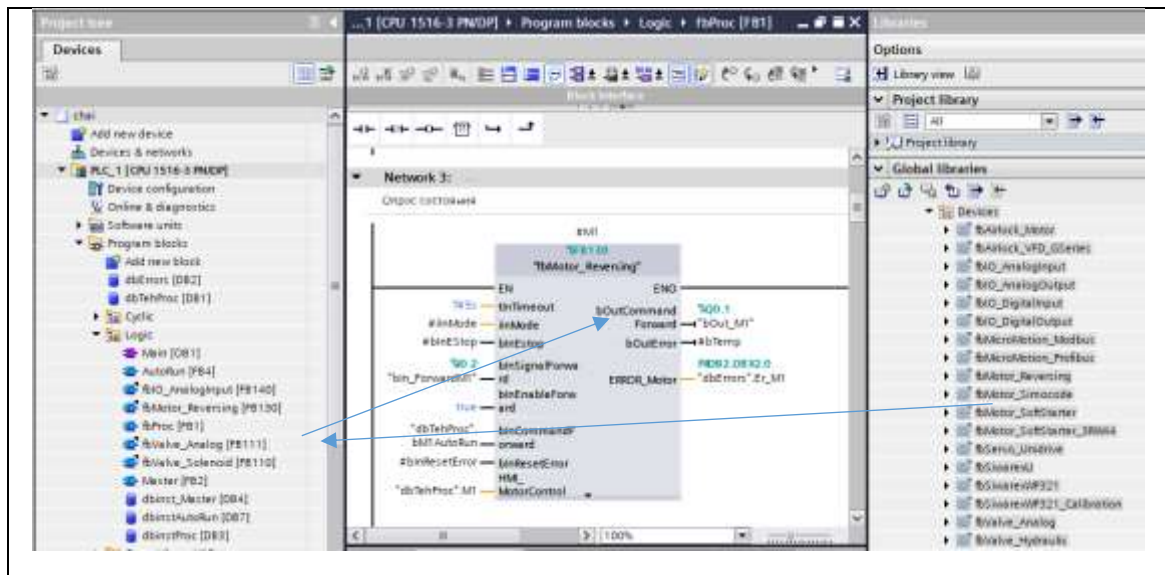


Рис. 6.6 – Приклад додавання функціонального блоку FB Motor

Основні функціональні можливості цих блоків:

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

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

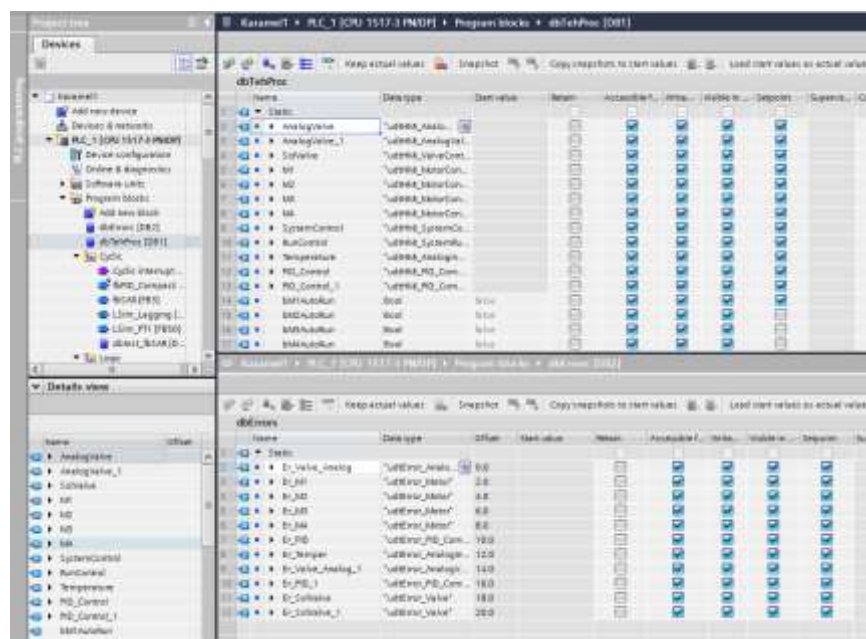


Рис. 6.7 – Створення глобальних блоків даних dbTehProc, dbErrors при реалізації САК процесом приготування фруктово-ягідних начинок

Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів насосів M1 та M2, шнеку M3 та вакуум-насосу M4, аналогових та відсічних клапанів. Створюємо інтерфейс цього функціонального блоку, в якому в розділах Input, Output, Static, Temp вказуємо імена змінних та їх типи.

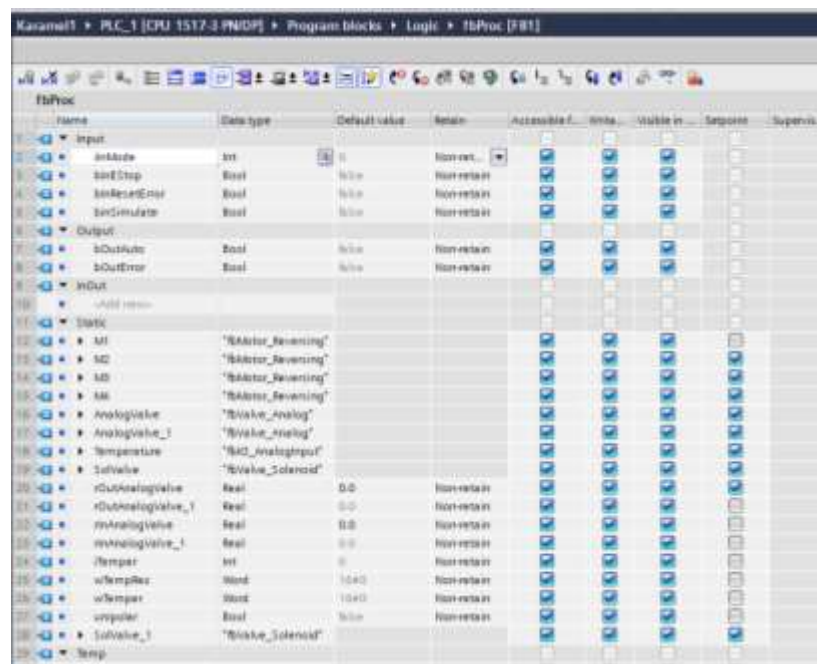


Рис. 6.8 – Інтерфейс функціонального блоку fbProc програми керування лінією приготування фруктово-ягідних начинок

Підпрограма fbProc створена на мові LD. Для кожного електроприводу 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). Для цього викликаються екземпляри бібліотечних

функціональних блоків fbValve_Solenoid, fbValve_Analog, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

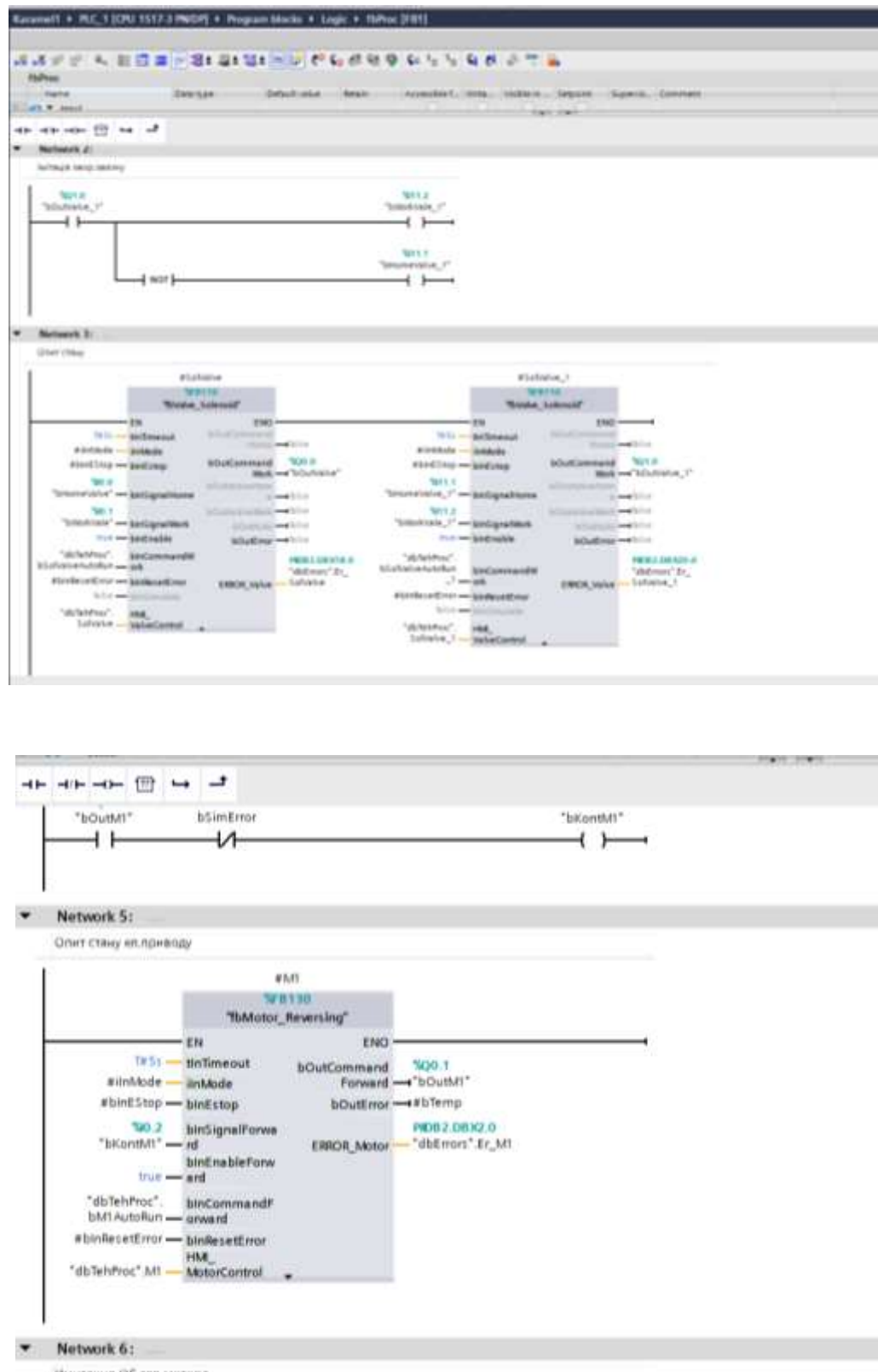


Рис. 6.9 – Фрагмент підпрограми fbProc програми керування лінією приготування фруктово-ягідних начинок

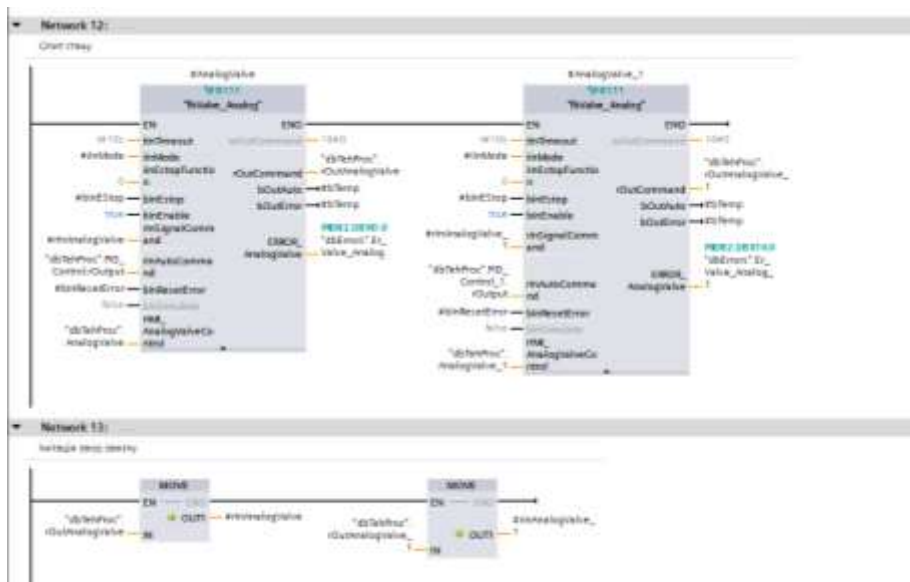


Рис. 6.10 – Фрагмент підпрограми fbProc програми керування лінією приготування фруктово-ягідних начинок

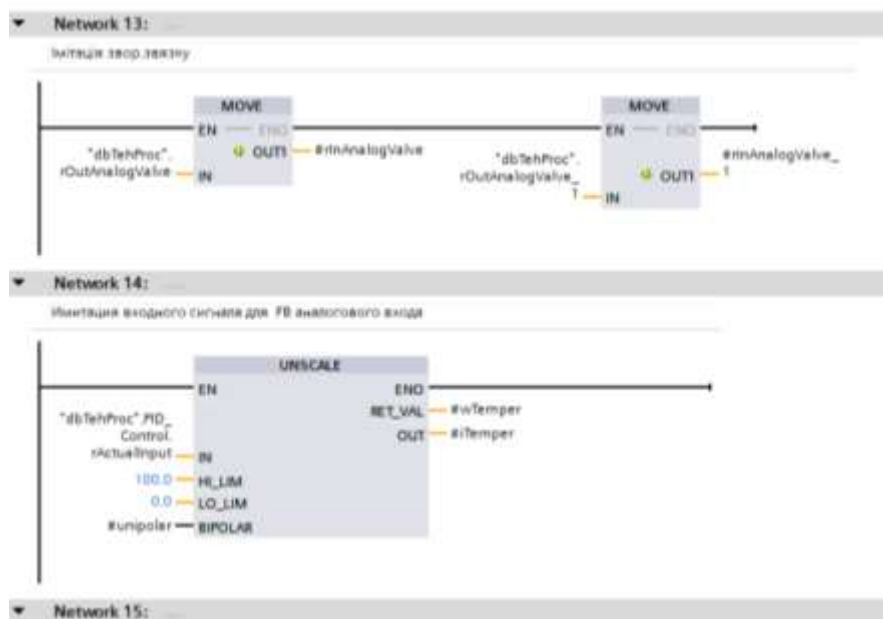


Рис. 6.11 – Фрагмент підпрограми fbProc програми керування лінією приготування фруктово-ягідних начинок

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання.

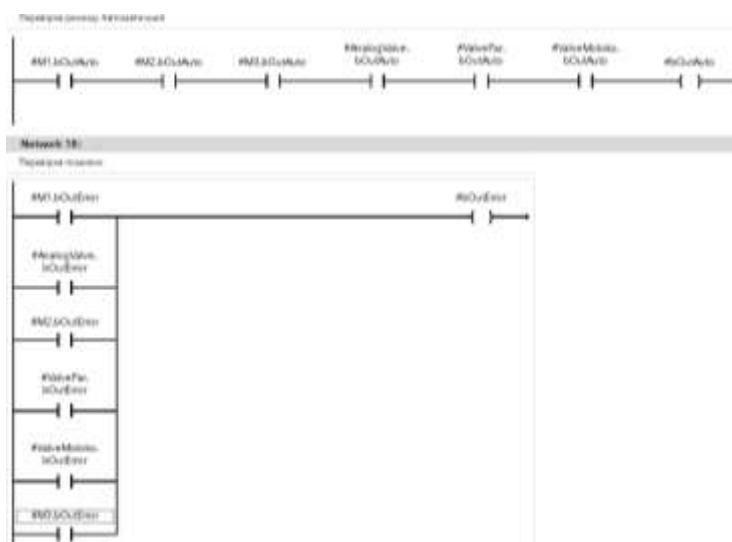


Рис. 6.12 – Фрагмент підпрограми fbProc програми керування лінією приготування фруктово-ягідних начинок

Далі складаємо підпрограму пуску та зупинки обладнання лінії приготування фруктово-ягідних начинок fbAutoRun, яка базується на алгоритмах, розроблених у розділі 4.

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

Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writ...	Visible in...
Input						
1 binEnableStart	Bool	false	Non-ret...	☒	☒	☒
2 binHostError	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
Output						
3 bOutAutoRunning	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
4 InOut						
5 hold new						
Static						
6 bAutoRun	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
7 bAutoStop	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
8 b2vA	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
9 bM1	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
10 b1V	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
11 bM4	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
12 b4V	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
13 Timer1	RC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒
14 Timer2	RC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒
15 Timer3	RC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒
16 Timer4	RC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒
17 Timer5	RC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒

Рис. 6.13 – Інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun

А далі на мові LD пишуться строки цього блоку (рис. 6.14), які забезпечують почерговий запуск та зупинку електроприводів та клапанів лінії приготування фруктово-ягідних начинок. Інтервали затримок

встановлюються у відповідних таймерах типу TON, які відносяться до базових інструкцій мови, так само як і SR-тригери.

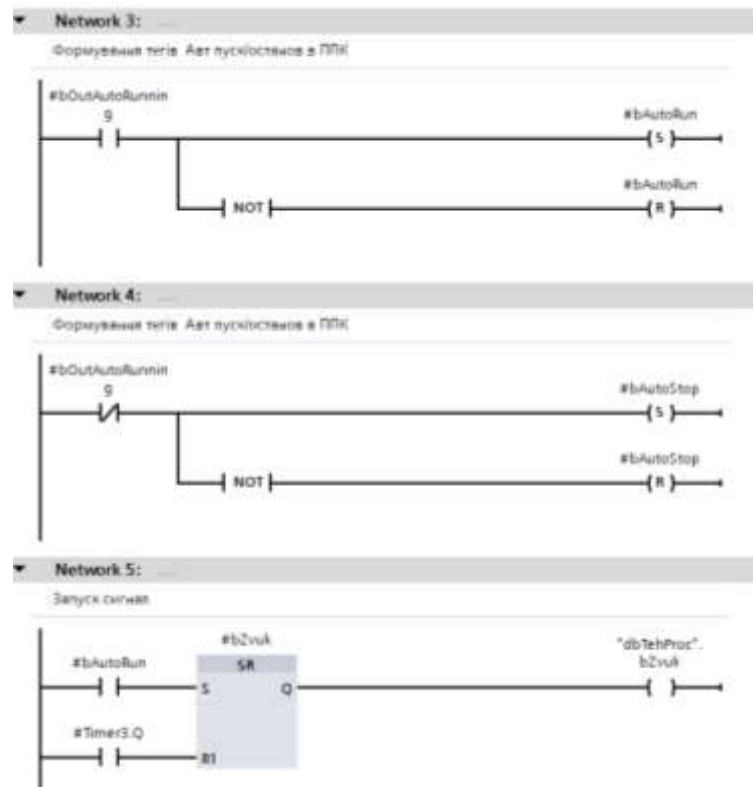


Рис. 6.14 – Фрагмент підпрограми fbAutoRun

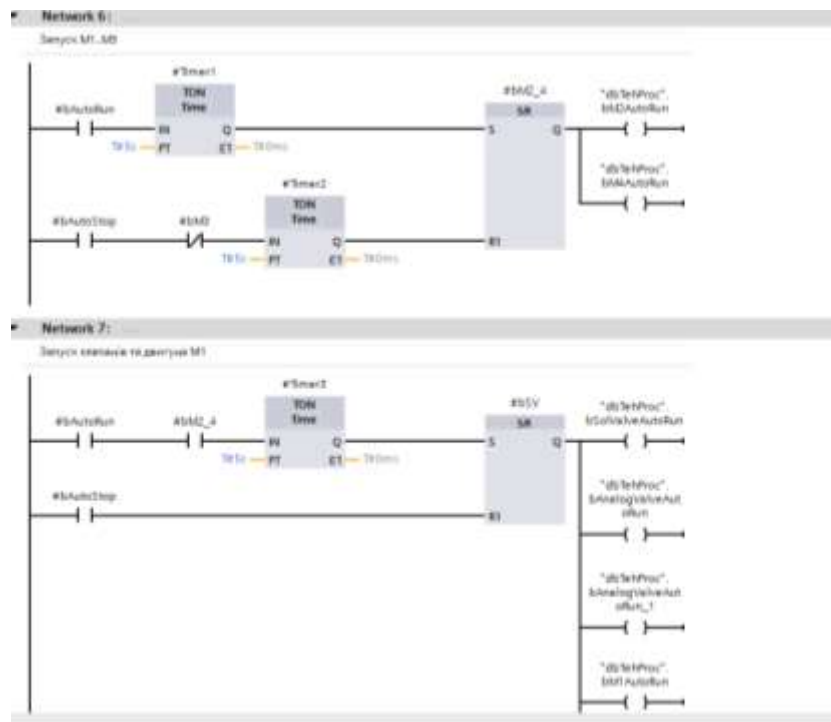


Рис. 6.15 – Фрагмент підпрограми fbAutoRun

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

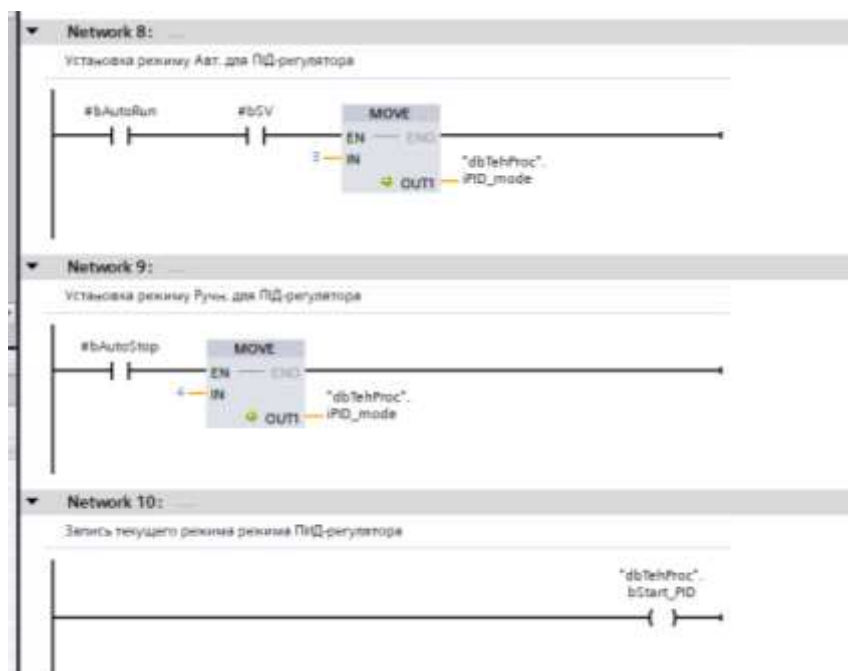


Рис. 6.16 – Фрагмент підпрограми fbAutoRun

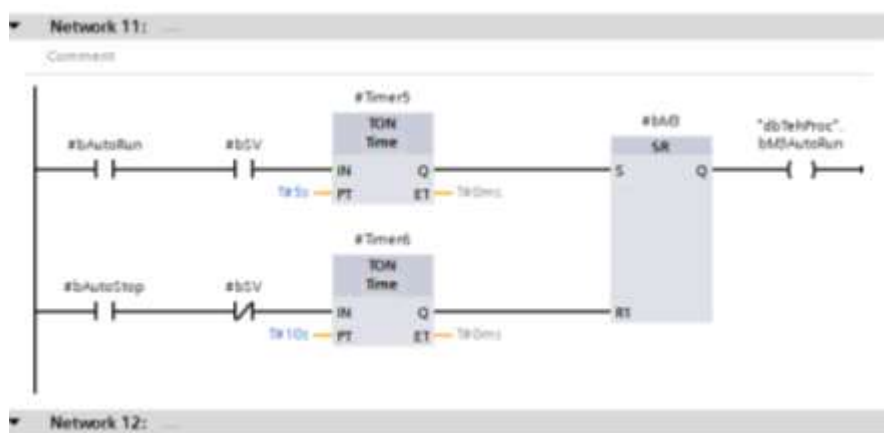


Рис. 6.17 – Фрагмент підпрограми fbAutoRun

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).

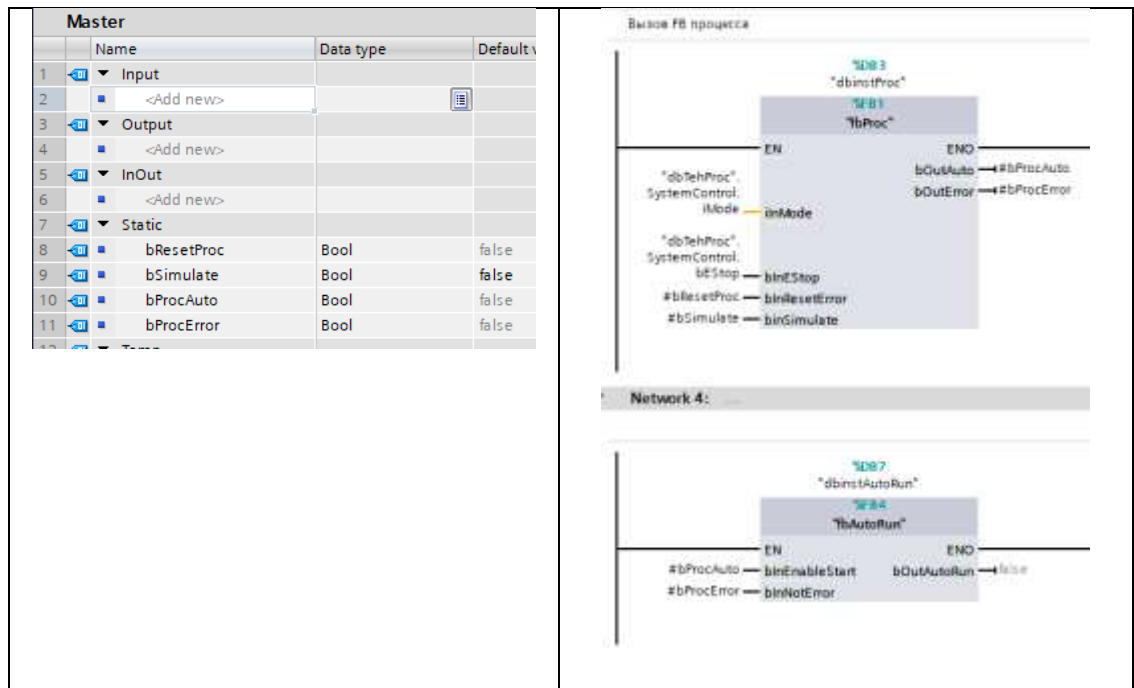


Рис. 6.18 – Інтерфейс та текст підпрограми Master програми керування лінією приготування фруктово-ягідних начинок

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

6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

Алгоритми регулювання температури нагріву та охолодження начинки 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 температур нагріву та охолодження начинки реалізована у функціональному блоці FB SAR, розрахунок якого виконується кожену 0,1 сек в організаційному блоці Cyclic interrupt (OB30). Необхідність використання саме організаційного блока OB30 зумовлена вимогою до точного визначення кроку квантування при розрахунках керуючого впливу.

Модель САР запрограмована з використанням функціональних блоків типового регулятора fbPID_Compact та типових динамічних ланок з бібліотеки

LSim (FB LSim_Lagging і FB LSim_PT1), що формують модель ОК. Інтерфейс підпрограми CAP представлений на рис. 6.19, в якому вказані змінні підпрограми та їх типи.

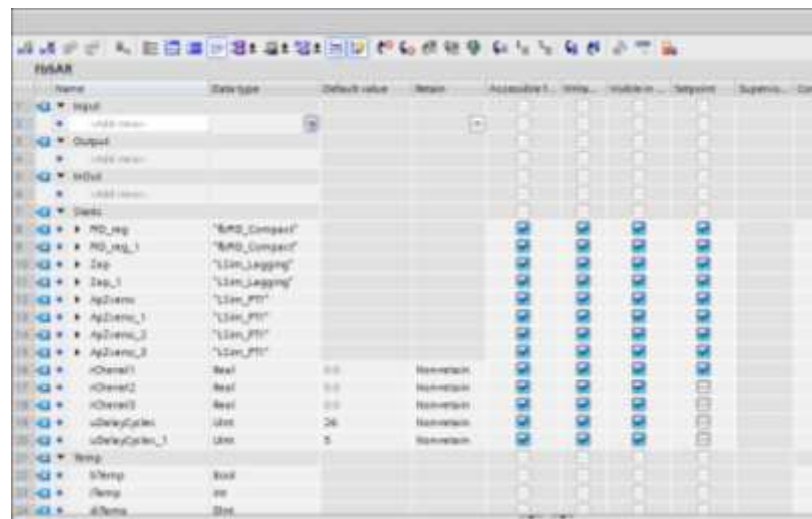


Рис. 6.19 – Інтерфейс функціонального блоку fbSAR

Перша строчка підпрограми fbSAR містить виклик функціональних блоків ПД-регулятора fbPID_Compact, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors. На рис. 6.20 наведено фрагмент програми з регуляторами температури нагріву та охолодження начинки.

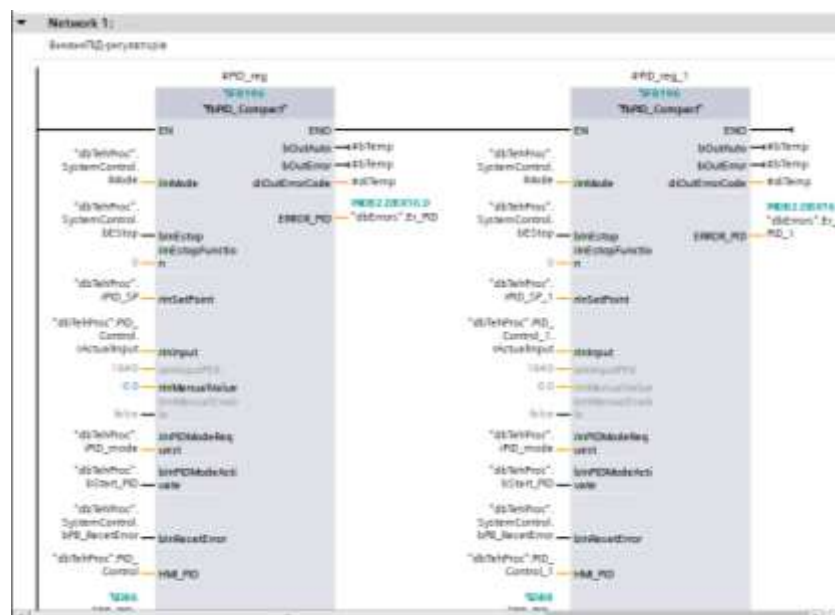


Рис. 6.20 – Фрагмент функціональних блоків fbSAR, що реалізує ПД-регулятори температури нагріву та охолодження начинки

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

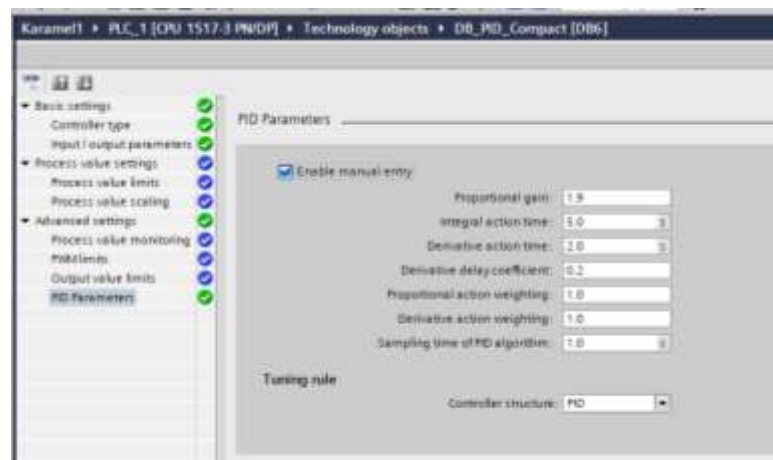


Рис. 6.21 – Приклад налаштування параметрів ПІД-регулятора температури нагрівання начинки

Вихідні сигнали ПІД-регуляторів підключаються до входів функціональних блоків аналогових клапанів (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 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.

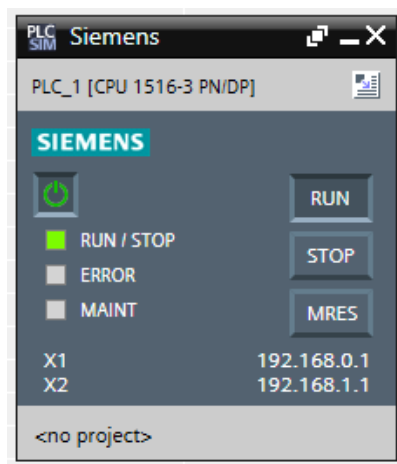


Рис. 6.23 – Вигляд вікна програми PLCSIM

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

6.4 Висновки за розділом

В результаті виконання даного розділу було проведено вибір необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500.

Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання для процесу приготування фруктово-ягідних начинок.

7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК

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

Для організації зв'язку вибираємо тип сполучення «HMI connection» та встановлюємо унікальні адреси технічних засобів в мережі PROFINET. Результати конфігурування наведено на рис. 7.1.

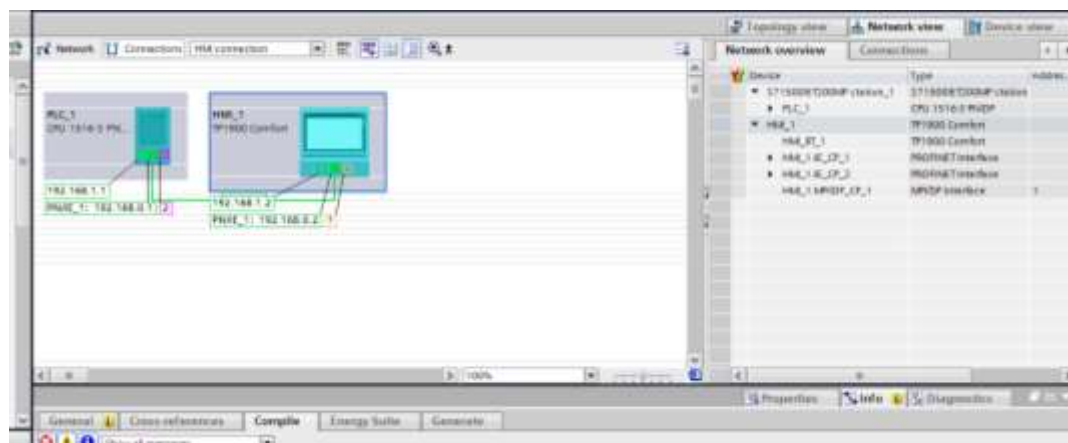


Рис. 7.1 – Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

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

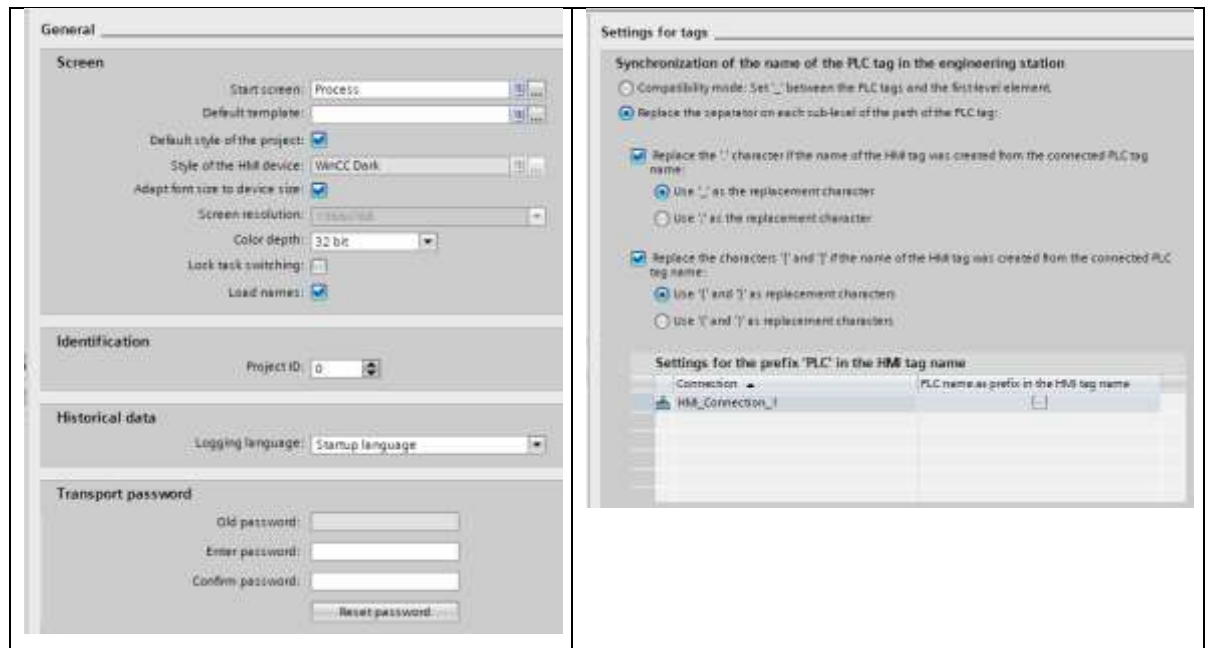


Рис. 7.2 – Конфігурування TP 1900 Comfort

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.

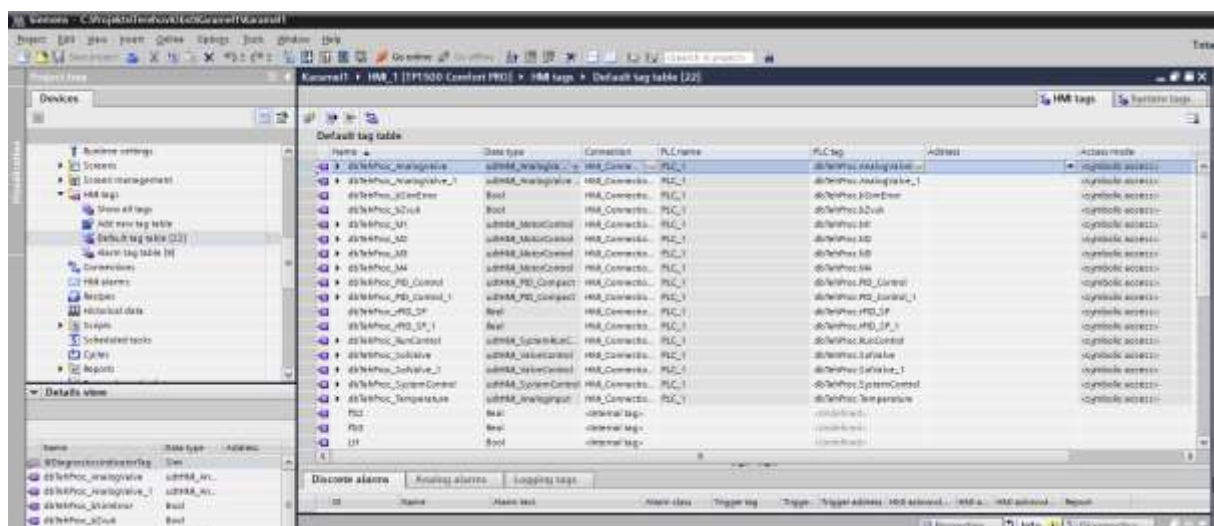


Рис. 7.3 – Приклад створення таблиці НМІ-тегів

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 лінією приготування фруктово-ягідних начинок:

- екран схеми установки для управління технологічним процесом;

- екран для спостереження за регульованими змінними (температура нагріву та температура охолодження сировини);

- 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 зміни температур в реальному часі, змінювати задане значення та налаштування регуляторів температур;

- 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.

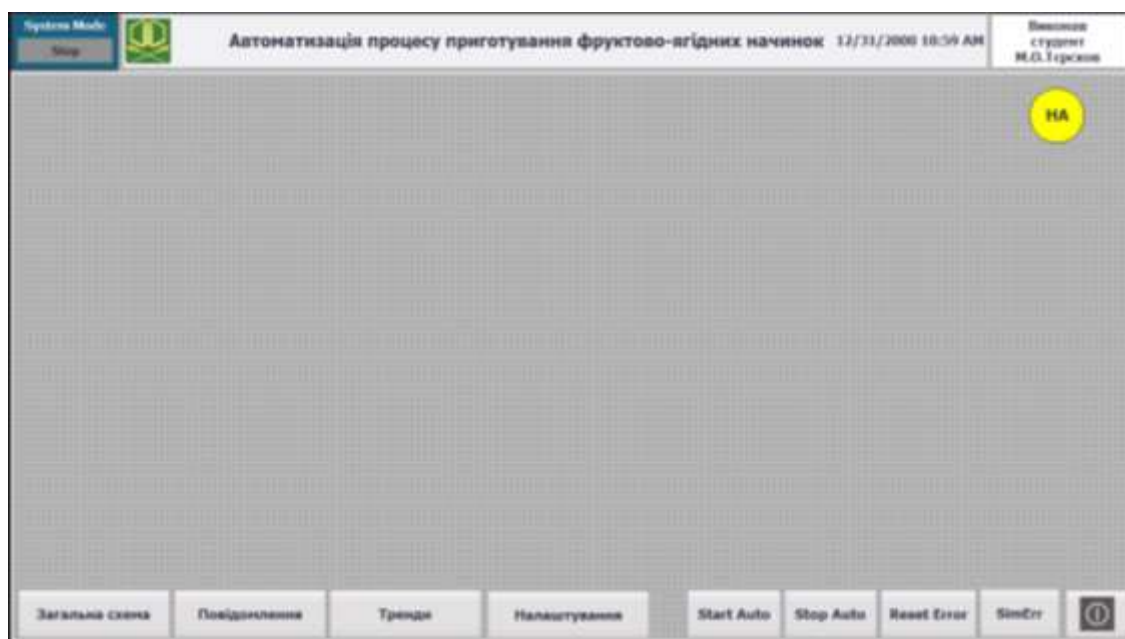


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів для САК процесу приготування фруктово-ягідних начинок

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).

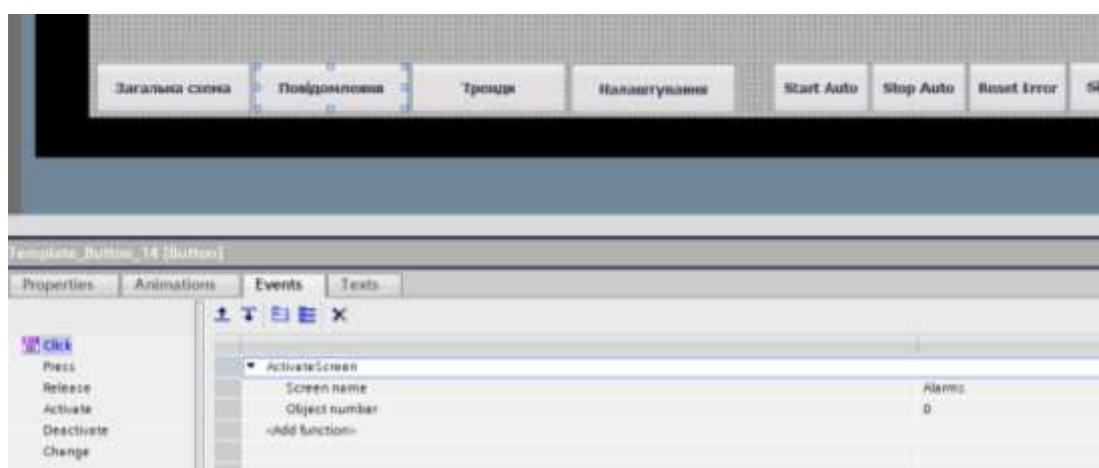


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

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

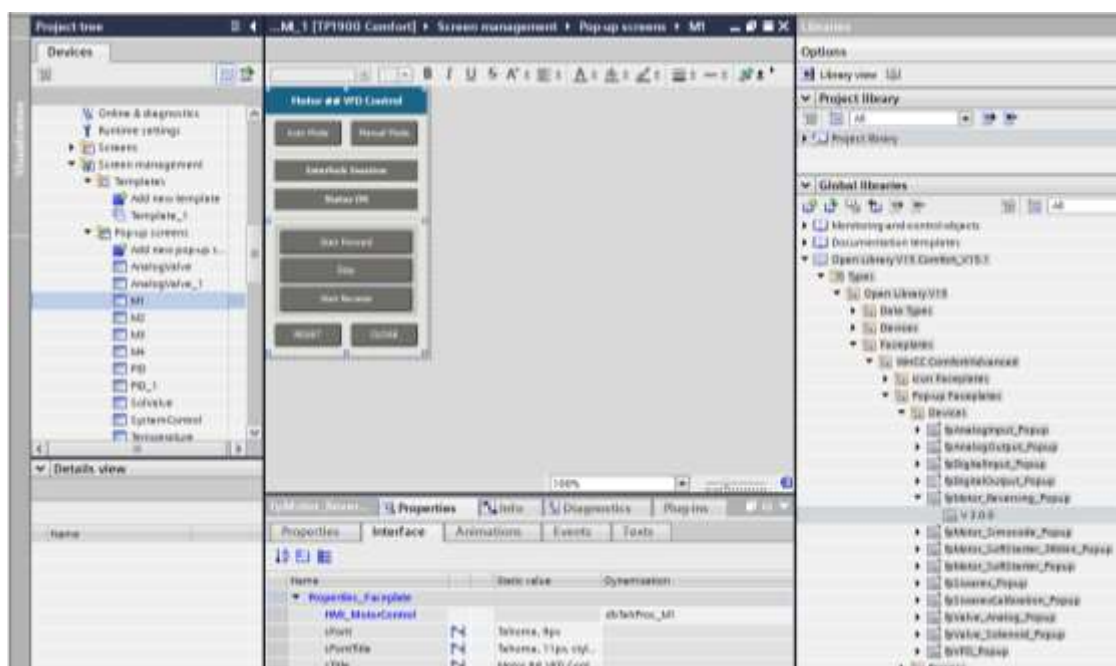


Рис. 7.6 – Приклад створення спливаючих вікон для керування окремим обладнанням лінії приготування фруктово-ягідних начинок

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

Основний екран «Загальна схема» містить схематичне зображення лінії приготування фруктово-ягідних начинок з нанесеними на нього елементами відображення і управління. Зображення створено в графічному редакторі TIA Portal з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і управління дозволяють оператору контролювати стан обладнання системи і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням системи.



Рис. 7.7 – Екран схеми установки

Для цього на проекцію екрану переносимо за допомогою миші з відповідного розділу бібліотеки SOL піктограми обладнання.

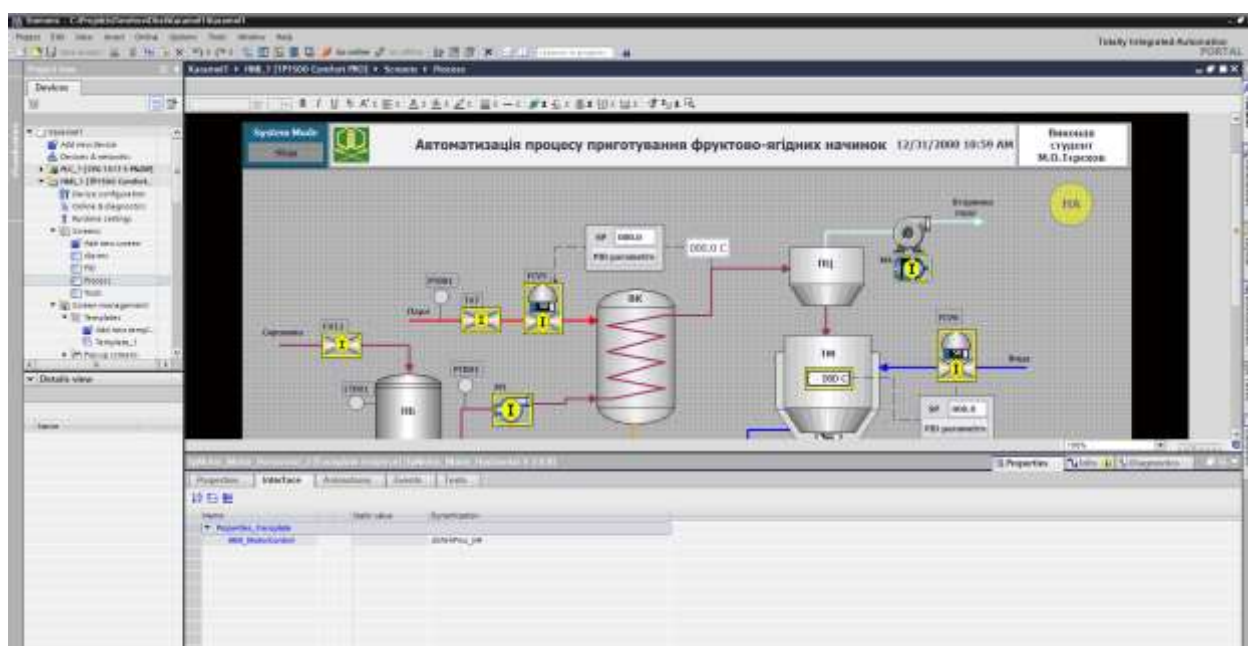


Рис. 7.8 – Приклад налаштування піктограми електроприводу

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 процесу приготування фруктово-ягідних начинок та налаштування параметрів ПІД-регуляторів температури в проекті передбачений екран PID (рис. 7.9).

Для побудови графіків зміни температури нагрівання начинки і температури охолодження начинки 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.

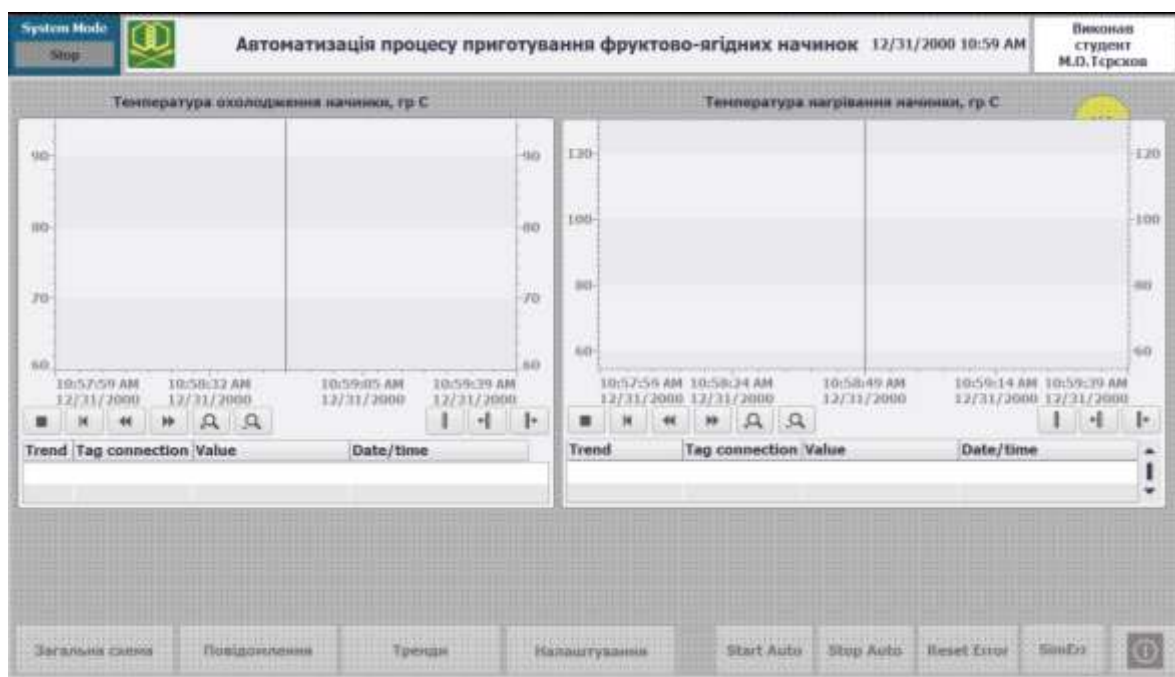


Рис. 7.9 – Екран графіків

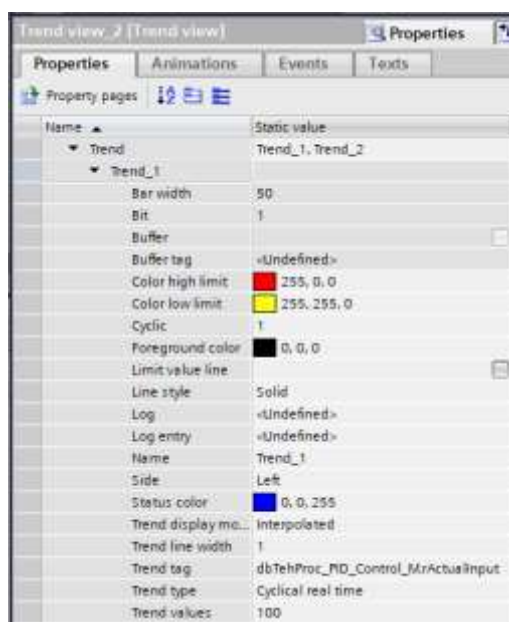


Рис. 7.10 – Вікно налаштування елементу Trend

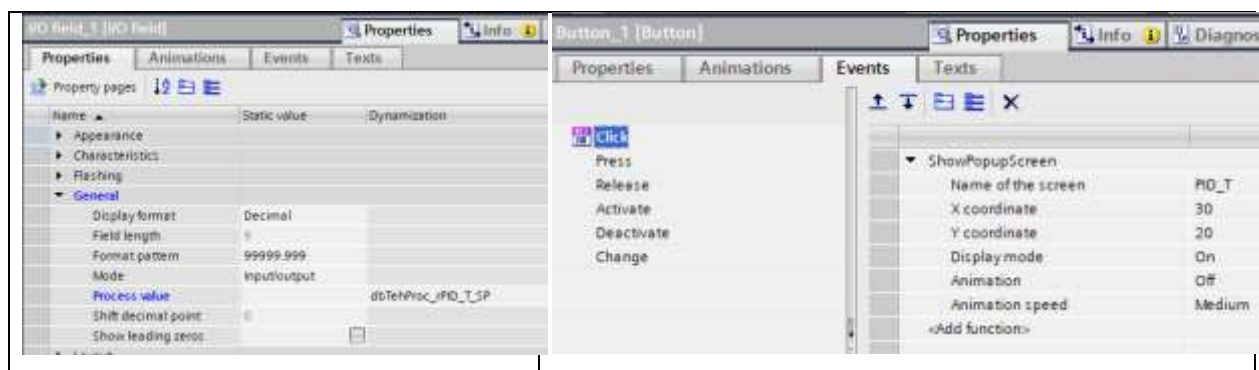


Рис. 7.11 – Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і виникнення подій (Alarm) з обладнанням лінії приготування фруктово-ягідних начинок 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.

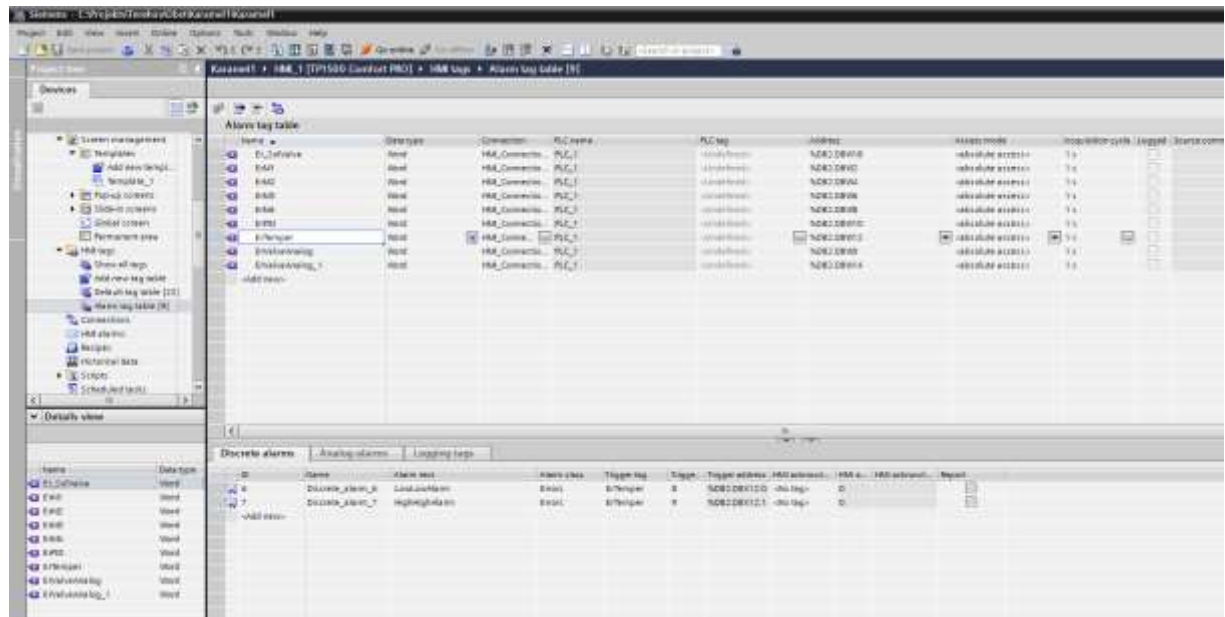


Рис. 7.12 – Приклад прив'язки тегів dbErrors з HMI-тегами

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.

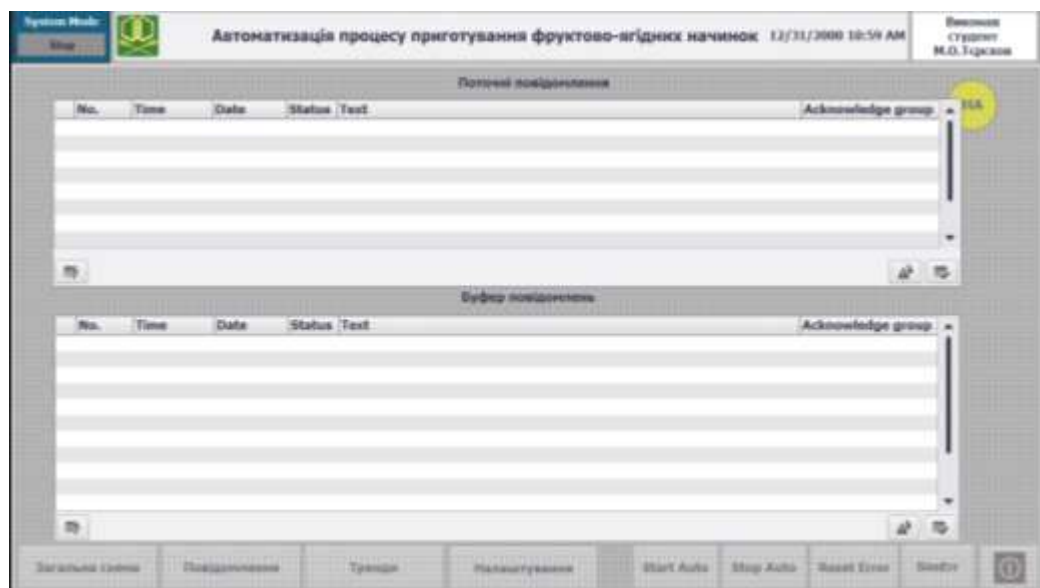


Рис. 7.13 – Екран Alarms повідомлень про несправності для процесу приготування фруктово-ягідних начинок

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

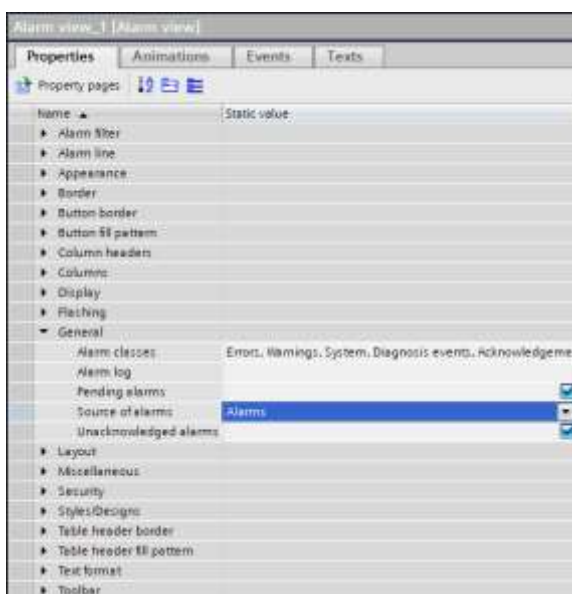


Рис. 7.14 – Налаштування властивостей елементу Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.4 Тестування системи керування

Тестування системи керування лінією приготування фруктових ягідних начинок проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовищі якої завантажуюмо проект ПЛК після його компіляції.

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

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



Рис. 7.15 – Схема установки в ручному режимі

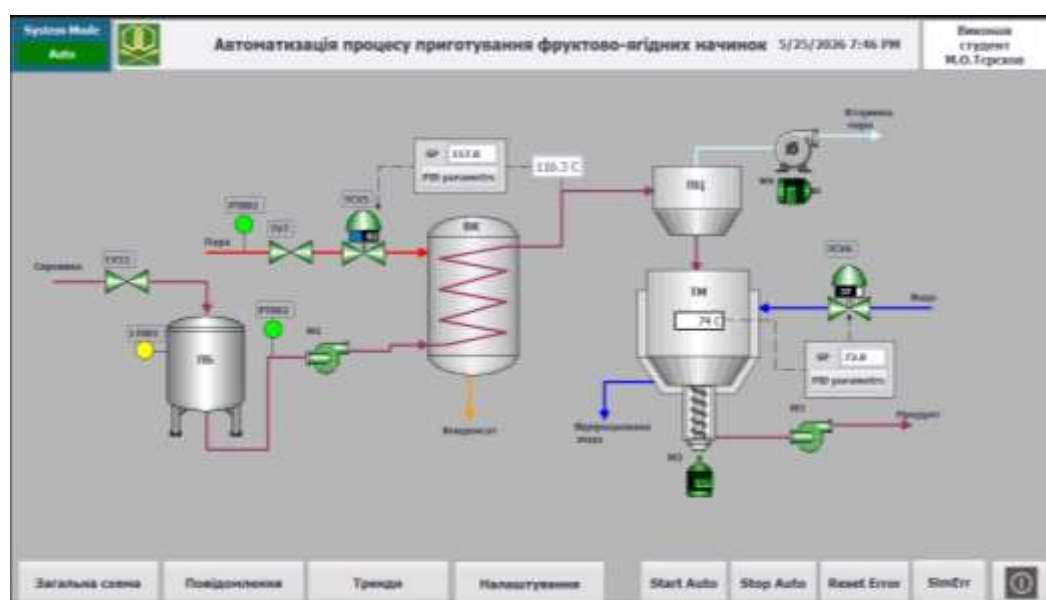


Рис. 7.16 – Схема установки в автоматичному режимі

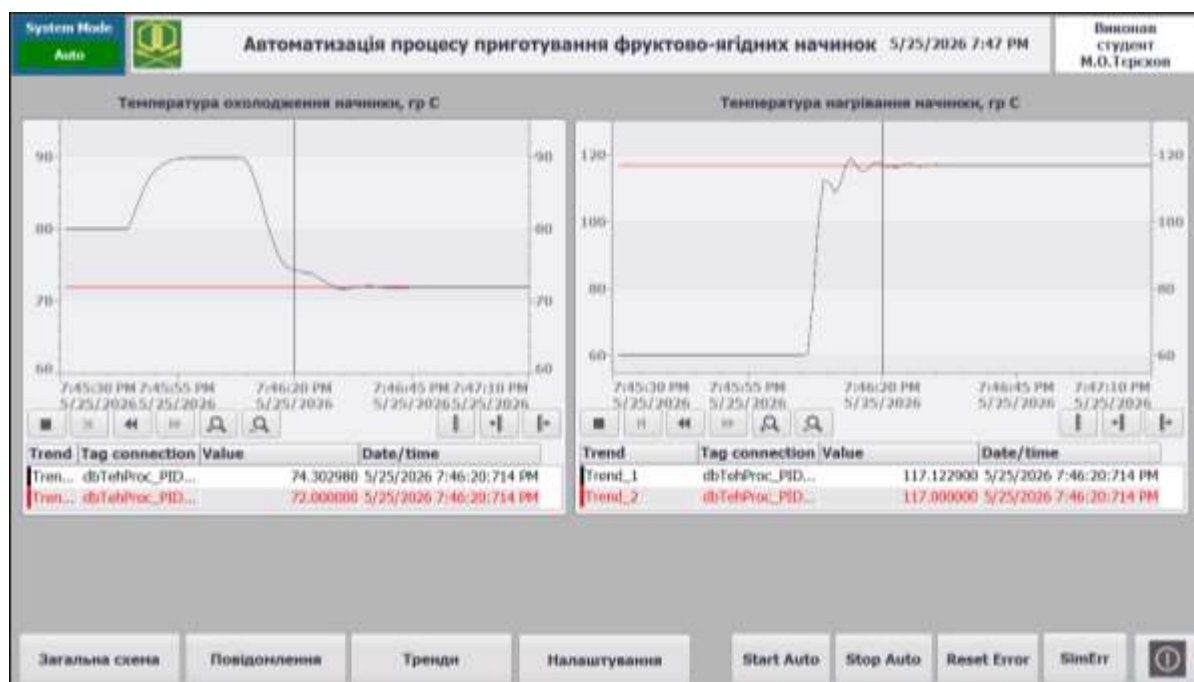


Рис. 7.17 – Екран PID в тестовому режимі

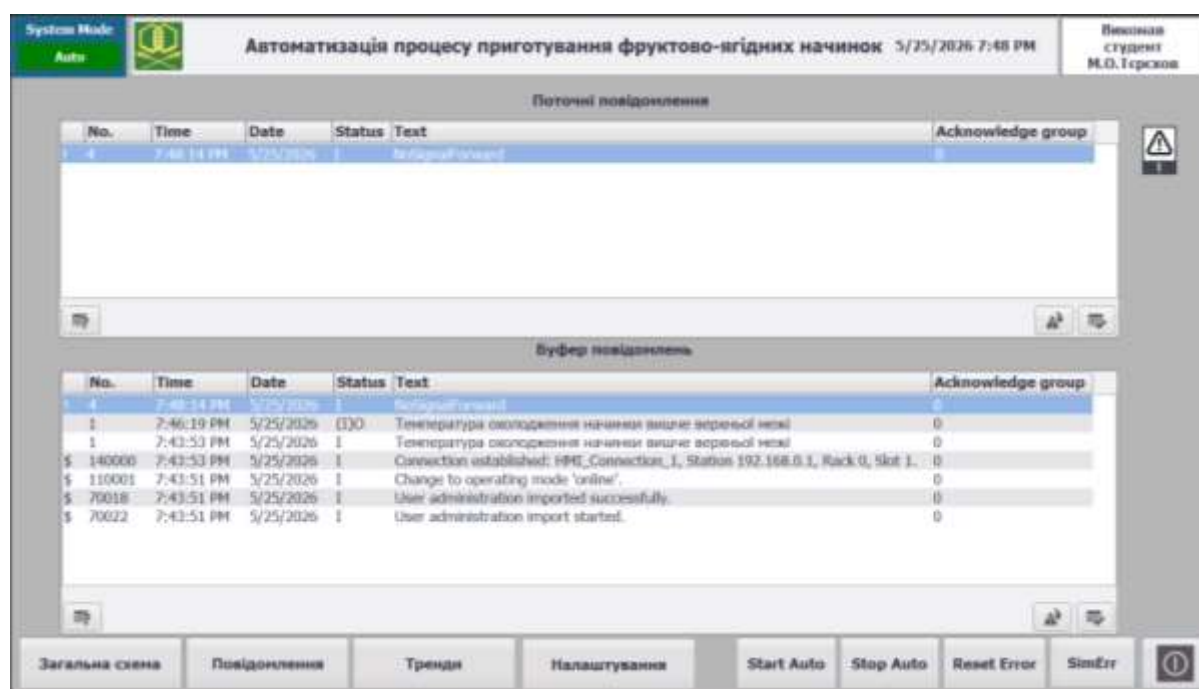


Рис. 7.18 – Екран Alarms в тестовому режимі при імітації несправності



Рис. 7.19 – Головний екран в тестовому режимі при імітації несправності

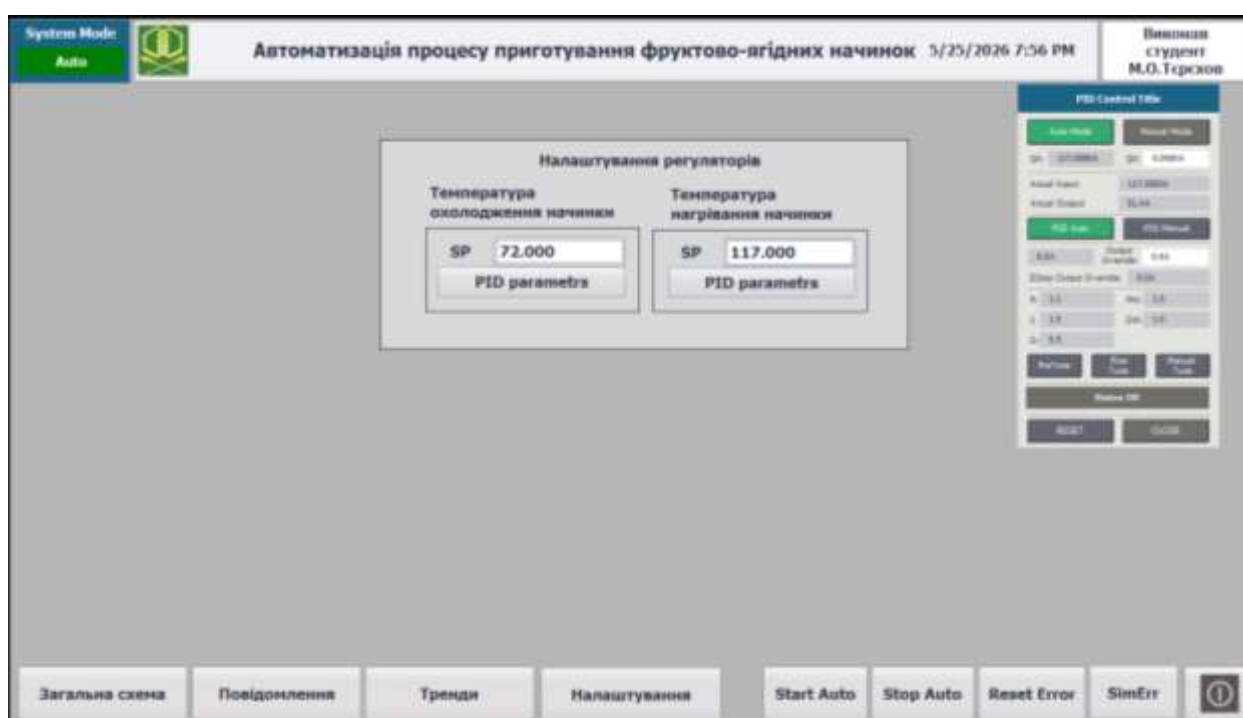


Рис. 7.20 – Екран Tools в тестовому режимі

7.5 Висновки за розділом

У цьому розділі роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом приготування фруктово-ягідних начинок. Створені екран для відображення схеми лінії приготування фруктово-ягідних начинок 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.

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

Для переходу на європейські стандарти (EN) та міжнародні норми (ISO/IEC) у сфері автоматизації, зараз впроваджуються наступні державні групи стандартів в Україні:

Для створення схем автоматизації (P&ID) замість застарілих радянських ГОСТів використовуються стандарти, що забезпечують «універсальну мову» інженерів.

ДСТУ ISO 14617 (зокрема ISO 14617-1:2018): Визначає правила побудови графічних символів для діаграм. Це база для роботи в сучасних САПР, таких як EPLAN або AutoCAD Electrical.

ДСТУ EN 62424: Стандарт для представлення проектів автоматизації за допомогою діаграм P&ID та обміну даними між інструментами P&ID та PCE (Process Control Engineering).

Для харчової та зернопереробної промисловості, де виробництво часто йде партіями, важливим є стандарт ISA-88 (міжнародний аналог — IEC 61512), в якому визначаються поняття Рівень обладнання: Розподіл на установки (Units), агрегати (Equipment Modules) та компоненти (Control Modules); Процесна логіка: Використання термінів «рецепт», «операція» та «фаза». Це дозволяє швидко змінювати асортимент продукції без переписування коду контролера.

Вертикальна інтеграція (Enterprise-Control System Integration)

Для ефективного керування елеватором або харчовим заводом дані з нижнього рівня (датчики/контролери) мають безперешкодно потрапляти в систему управління підприємством (ERP).

ISA-95 (IEC 62264): Цей стандарт визначає інтерфейс між виробничими операціями (MES-системи) та бізнес-плануванням. Він дозволяє автоматизувати звітність про витрати сировини, енергоресурсів та вихід готової продукції.

Автоматизація в цих галузях тісно пов'язана з гігієнічними вимогами та контролем якості.

ISO 22000: Система менеджменту безпеки харчових продуктів. Автоматика має забезпечувати контроль критичних точок (НАССР) — наприклад, температуру сушіння зерна або пастеризації молока.

Простежуваність (Traceability): Стандарти вимагають, щоб автоматизована система могла «відстежити» шлях кожної партії сировини від прийомки до готового виробу.

Щоб покращити завадостійкість системи автоматичного керування (САК) ділянкою нагріву фруктово-ягідної начинки, була запропонована наступна технічна структура, в якій розділена силова і інтелектуальна частини (рис. 8.1).

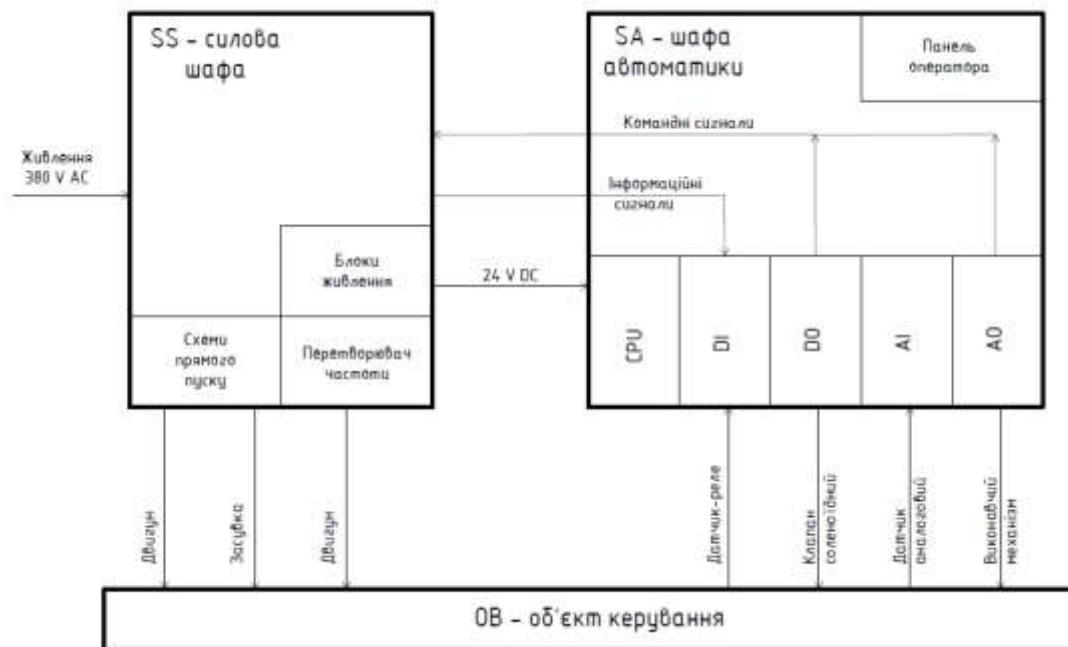


Рис. 8.1 – Структура САК

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 і відповідно до складеної технічної структури системи керування розроблено комплект її проектної документації. Комплект включає наступні документи:

Графічні:

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

Елементи керування та живлення електроприводів встановлюються в силовій шафі на DIN-рейку 35 мм. Шафа оператора знаходиться у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площі шафи 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...20mA DC), вихідні аналогові сигнали струму (4...20mA DC) і сприймаються виконавчими механізмами.

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

1 – 4 - керування та контроль стану електроприводів M1 – M4;

5, 6 – контроль і регулювання температури нагріву і охолодження начинки;

7, 11 – керування та контроль стану соленоїдних клапанів TV7, LV11;

8, 9 – контроль тиску гріючої пари і сировини перед насосом.

У контурах 1 – 4 та 7, 11 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 5 реалізована система контролю та регулювання температури нагріву начинки. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика рівня з уніфікованим перетворювачем PУ/5 пропорційний рівню сигнал струму 4...20 мА DC подається на регулятор ТС/5, який формує керуючий вплив у вигляді 4...20 мА DC, що подається виконавчий механізм клапану TCV5. Регулятор програмно реалізований в ПЛК. В контурі передбачена функції ручного задатчика і індикації регульованої змінної НІС/5, які реалізовані в панелі оператора. Контур 6 працює аналогічно.

В контурах 8 і 9 сигнал від датчиків-реле тиску PS/8, PS/9 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК і дозволяє сформувати функції індикації та сигналізації PIS/8, PIS/9 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.

Місьцеве керування електроживленням котушки контактора 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 показує 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, M4 аналогічне, то воно на схемі не показане.

По кабелям W1, W6, W8, що підключається до клем SA-X1, передаються сигнали від датчиків-реле тиску PS/8, PS/9 та рівня LS/10.

На дискретних виходах модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелям W4, 5, 9, 12 що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами M1 – M4. Також до виходу модуля дискретних виходів по кабелям W3, 15,, що підключаються до клем SA-X1, підключаються проміжні реле K3, K4 для керування соленоїдами клапанів LV/11, TV/7.

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 TY5, TY6.

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 TCV5, TCV6.

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

8.8 Охорона праці

Загальні положення.

Безпека праці при створенні та експлуатації систем автоматизації технологічних процесів повинна відповідати вимогам:

- Закону України «Про охорону праці»; НПАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»; НПАОП 0.00-1.32-01 «Правила техніки безпеки під час експлуатації електроустановок»; ДБН В.2.5-23:2010 «Електрообладнання будівель і споруд»; ДСТУ EN 60204-1:2018 «Безпечність машин. Електрообладнання машин»; ПУЕ (Правила улаштування електроустановок).

Цей розділ поширюється на:

- шафи керування (ПЛК, частотні перетворювачі, пристрої захисту);
- польове обладнання (датчики, виконавчі механізми, регулювальні клапани);
- кабельні мережі та кросові з'єднання;
- операторські станції та серверне обладнання;
- системи живлення (щити, ДБЖ).

Вимоги до розміщення обладнання АСКТП.

Доступність та обслуговування

- Шафи керування повинні встановлюватися в приміщеннях з вільною доступністю для кваліфікованого персоналу (ширина проходу – не менше 0,8 м, перед щитами – не менше 1,0 м).

- Обладнання масою понад 30 кг слід монтувати на несучих конструкціях із передбаченням такелажних пристроїв.

- Для обладнання, що виділяє тепло (частотні перетворювачі, блоки живлення), необхідно забезпечити природну або примусову вентиляцію згідно з паспортними даними.

Захист від зовнішніх впливів

- Ступінь захисту оболонки шаф — не нижче IP54 (для чистих приміщень) або IP65 (для зон з пилом/вологою).

- Польове обладнання обирається зі ступенем захисту відповідно до класу зони за ПУЕ (IP54, IP65, IP67).

- У зонах з підвищеною вологістю або хімічною активністю додатково передбачається герметизація кабельних вводів та встановлення корозійностійких матеріалів (AISI 304/316L).

Пожежна безпека

- Шафи керування повинні розташовуватися на відстані не менше 1,0 м від горючих матеріалів.

- Кабельні траси (лоточні, коробні системи) виконуються з негорючих матеріалів (метал).

- Для категорійних приміщень за вибухопожежною небезпекою застосовуються кабелі з оболонкою, що не поширює горіння (нг-LS, нг-HF).

Вимоги до електрообладнання та засобів захисту.

Живлення та заземлення

- Всі металеві частини шаф, пультів, каркасів обладнання повинні бути надійно заземлені (головна заземлювальна шина).

- Електроживлення систем автоматизації виконується згідно з вимогами ПУЕ через роздільні автомати захисту.

- Для зниження завад в ланцюгах сигналізації та керування передбачається роздільне заземлення (силове / сигнальне).

Захист від аварійних режимів

- Електродвигуни та перетворювачі частоти повинні мати захист від короткого замикання, перевантаження (теплове реле, електронний захист), втрати фази.

- Інтегровані системи захисту АСКТП (ПАЗ) повинні дублювати автоматичне вимкнення при перевищенні критичних параметрів (температура обмоток, струм, вібрація).

Розрив усіх фаз

- Комунікаційні апарати (автомати, контактори) повинні забезпечувати одночасне відключення всіх провідників, що перебувають під напругою, у ланцюгах живлення двигунів.

Попереджувальна сигналізація

- При автоматичному або дистанційному пуску механізмів обов'язково передбачається звукова та світлова передпускова сигналізація (час попередження — не менше 5 с).

Аварійне відключення

- Біля кожного механізму (або в зоні видимості) встановлюється апарат аварійного відключення (червоний грибоподібний вимикач) з фіксацією положення.

- Після спрацювання аварійного вимикача дистанційний та автоматичний пуск блокується до примусового повернення кнопки у вихідний стан.

Блокування мимовільного пуску

- Після тимчасового зникнення напруги — повторний пуск двигунів системи керування може виконуватися лише після ручного підтвердження оператором (за винятком критичних механізмів безперервного циклу, де самозапуск обґрунтований технологічним регламентом).

Особливості для частотно-регульованих приводів.

- Кабелі між перетворювачем частоти та двигуном повинні мати екран (або броню), який заземлюється з обох кінців для зниження електромагнітних перешкод.

- Виробник перетворювача частоти повинен забезпечувати фільтри придушення радіоперешкод (згідно з EN 61000-6-3/4).

- Довжина силових кабелів обмежується технічними вимогами ПЧ (зазвичай $\leq 100\text{--}200$ м), або застосовуються вихідні дроселі.

- Потужні частотні перетворювачі (понад 30 кВт) слід розміщувати в окремих шафах з вентиляцією.

Вимоги до устаткування у вибухо- та пожежонебезпечних зонах.

Вибухонебезпечні зони (класи В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг за ПУЕ)

- Електрообладнання (двигуни, датчики, світильники, розподільні коробки) повинно мати відповідний рівень вибухозахисту (Ex d, Ex e, Ex i, Ex t тощо) згідно з ДСТУ EN 60079.

- Забороняється розміщувати в вибухонебезпечній зоні апарати з іскрящими контактами (реле, контактори) без оболонки Ex d або Ex p.

- Максимальна температура нагріву поверхні двигуна/обладнання не повинна перевищувати температуру самозаймання газопарового середовища (T1...T6).

- Кабельні вводи повинні мати вибухозахист (Ex d або Ex e).

Пожежонебезпечні зони (класи П-I, П-II, П-IIa)

- Ступінь захисту оболонки — не нижче ****IP44**** (для зон П-II, П-IIa — IP54).

- Контактні кільця двигуна та інші іскрячі вузли слід розташовувати на відстані не менше 1 метра від горючих речовин або відокремлювати екраном з негорючого матеріалу.

- Для вентиляції двигунів у пожежонебезпечних зонах забороняється використовувати повітря, що містить горючі пари, гази або пил.

Вимоги до засобів автоматики.

- Контролери (ПЛК) повинні встановлюватися в закритих металевих шафах із доступом лише для уповноваженого персоналу.

- Кнопкові пости (пульти) з підлоги повинні мати корпус із ізоляційного матеріалу або надійно заземлюватися.

- Для реверсивних пусків передбачається механічне та електричне блокування контакторів (унеможливлення одночасного вмикання).

- Якщо механізм має кілька постів керування — повинно бути блокування (наприклад, ключ-селектор), що забороняє одночасне керування з різних постів.

- Для всіх кнопок аварійної зупинки передбачається фіксація положення та введення додаткового контакту в ПЛК для архівації факту аварійної зупинки.

Маркування та інструктаж.

На корпусах апаратів керування (в тому числі на симуляторах та мнемосхемах SCADA) повинні бути чіткі знаки включено/вимкнено. Якщо положення рукоятки не визначає стан апарата однозначно, передбачається світлова індикація.

Усі працівники, які обслуговують, налагоджують або виконують ремонт систем автоматизації, повинні проходити:

- первинний та періодичний інструктаж з охорони праці;
- перевірку знань правил електробезпеки (група допуску не нижче III до 1000 В);
- ознайомлення з проектною документацією та схемами.

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 процесу нагріву і охолодження фруктово-ягідної начинки. 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 фруктово-ягідних начинок і детально досліджено та процес варки, що є складовою цього виробництва. Підвищення ефективності саме цього процесу здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому саме процес варки начинки 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 фруктово-ягідних начинок 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 нагрівання та охолодження начинок в варочній колонці і темперуючій машині, удосконалити існуючі алгоритми логічного керування, замінити існуючу елементно-технічну базу на більш нові засоби керування.

Була проведена ідентифікація моделі процесу варки начинок, 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 варочній колонці та темперуючій машині протікають процеси, які за своєю природою мають такі властивості. При складанні структурних схем моделювання та їх реалізації були отримані результати, які мають достатній ступінь відповідності реальним передаточних функцій, що свідчить про правильність проведення параметричної ідентифікації моделей каналів ОК.

Задача побудови системи автоматичного регулювання вирішувалася у два етапи. Спочатку було проведено синтез та аналіз САР базової структури, а

потім проведено підвищення динамічної точності цієї САР шляхом забезпечення автономності контуру регулювання температури охолодження начинки.

САР з ПІ- та ПІД-регуляторами в перехідних режимах задовольняє гранично припустимим вимогам.

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

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

САР підвищеної динамічної точності побудована на принципом забезпечення автономності контуру регулювання температури охолодження начинки в темперуючій машині.

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 ПІД-регуляторами САР автономної структури майже не дає покращення за прямими показниками якості перехідних процесів. За критерієм оптимальності САР автономної структури дає незначне покращення. Тому у подальшому доцільно використовувати САР базової структури з ПІД-регуляторами.

В ході розробки алгоритмів логічного керування для ділянки процесу виробництва фруктово-ягідних начинок було складено регламенти функціонування та алгоритми автоматичного керування пуском та технологічною зупинкою ділянки.

Було проведено вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити керування ділянки процесу виробництва фруктово-ягідних начинок. 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 нагрівання і охолодження начинок із використанням бібліотечних функціональних блоків.

Проведено тестування цих програм, яке засвідчило їх відповідність алгоритмам.

Розроблено інтерфейс для SCADA системи управління технологією ділянкою процесу виробництва фруктово-ягідних начинок. 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 виробництва фруктово-ягідних начинок. 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. Кулаласва Н. В., Герлянд Т. М., Гайдук О. В., Дрозіч І. А., Романова Г. М. Сучасні технології кондитерського виробництва : підручник. Житомир : Полісся, 2020. 514 с.
2. Іоргачова К. Г., Макарова О. В., Гордієнко Л. В., Коркач Г. В. Технологія кондитерського виробництва : практикум. Одеса : Сімекс-прінт, 2011. 208 с.
3. Технологічний процес приготування карамелі. Апаратурно-технологічні схеми і технологічні режими приготування карамельної маси і начинок для карамелі. URL: https://vspkhp.lcloud.in.ua/lesson?thema_id=595|8|4|1.
4. Виробництво карамелі. Технологічна схема виробництва карамелі з фруктово-ягідною начинкою. URL: <https://en.ppt-online.org/137237>.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

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

16. 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.

17. 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.

18. 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.

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

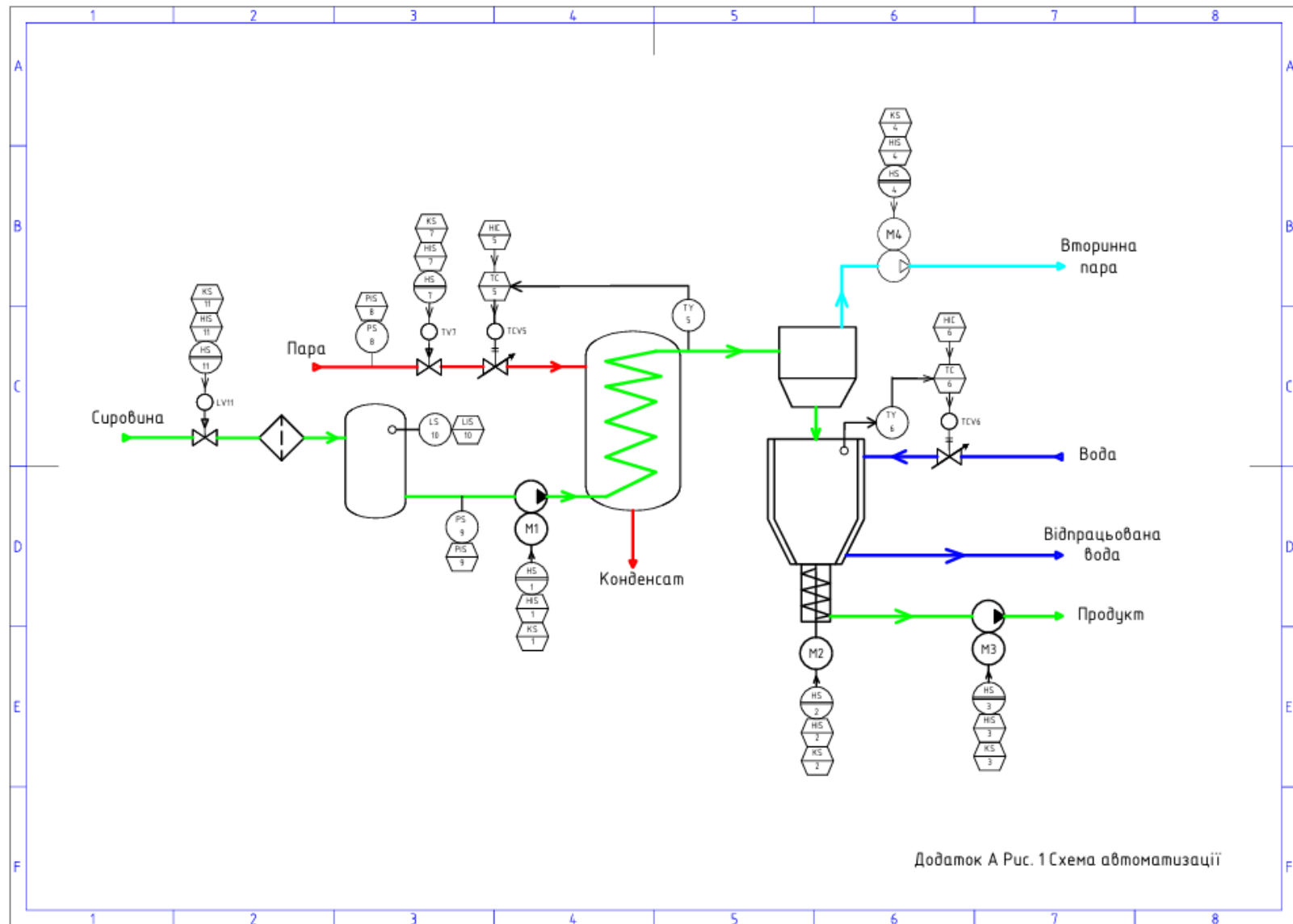
20. ДСТУ 3008:2015 Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ, ДП УкрНДНЦ, 2016. 31 с.

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/6 TY/6	Датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П) 1-28, 2-48	2	
PS/8	Реле тиску гріючої пари Danfoss BCP4H	1	
PS/9	Реле тиску начинки перед насосом Danfoss KP44	1	
LS/10	Реле рівня начинки в баку EASYTREK SP 500	1	
TCV/5 TCV/6	Регулюючий клапан RV-210 з електроприводом RTN 2 Ekorex	2	
	<u>Прилади у шафі оператора</u>		
TC/5, 6 KS/1... KS/11	Центральний процесор CPU 1513 1 PN	1	
HIS/1... HIS/6	Панель оператора TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	
HS/1... HS/6	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	6	
	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	6	

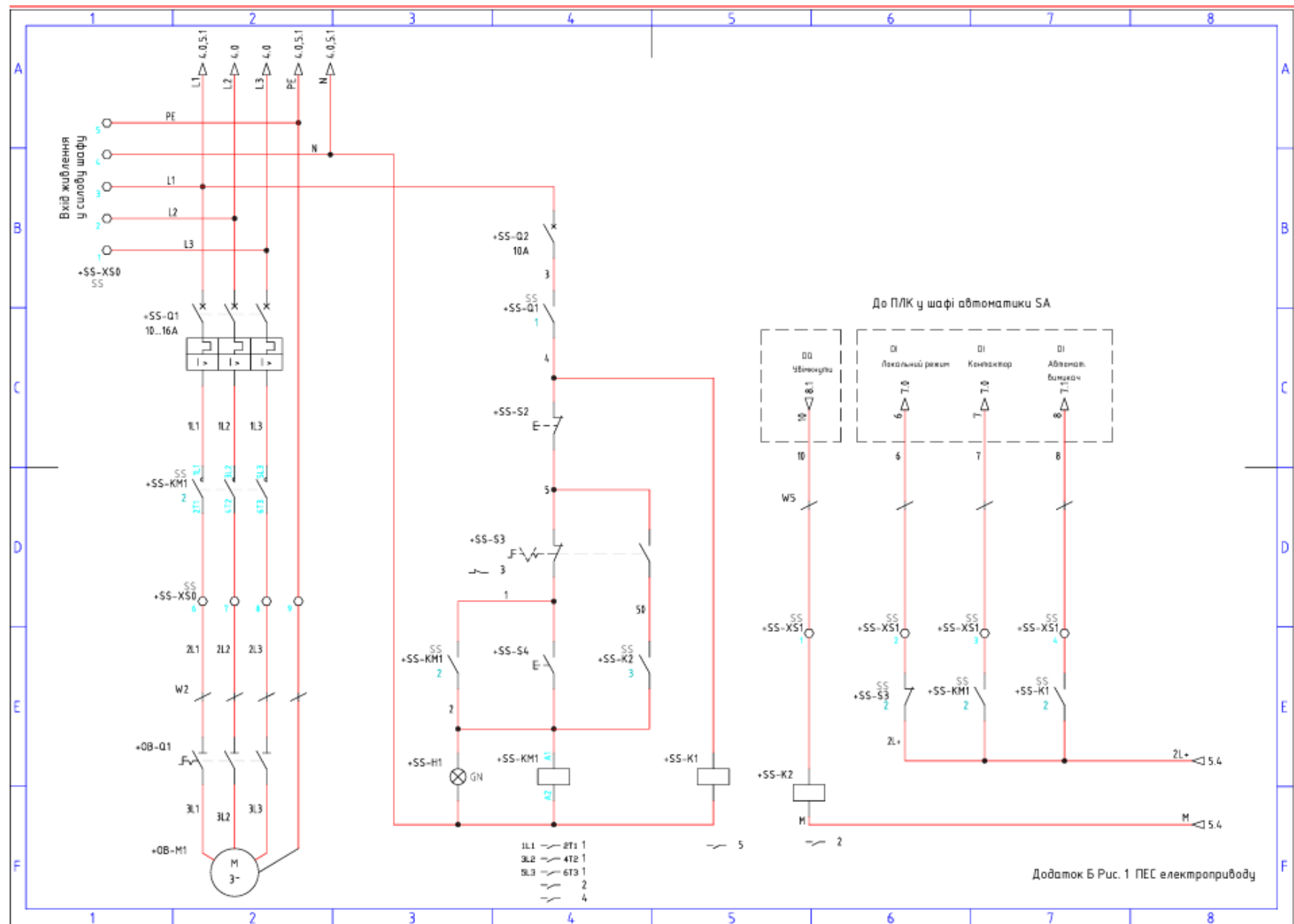


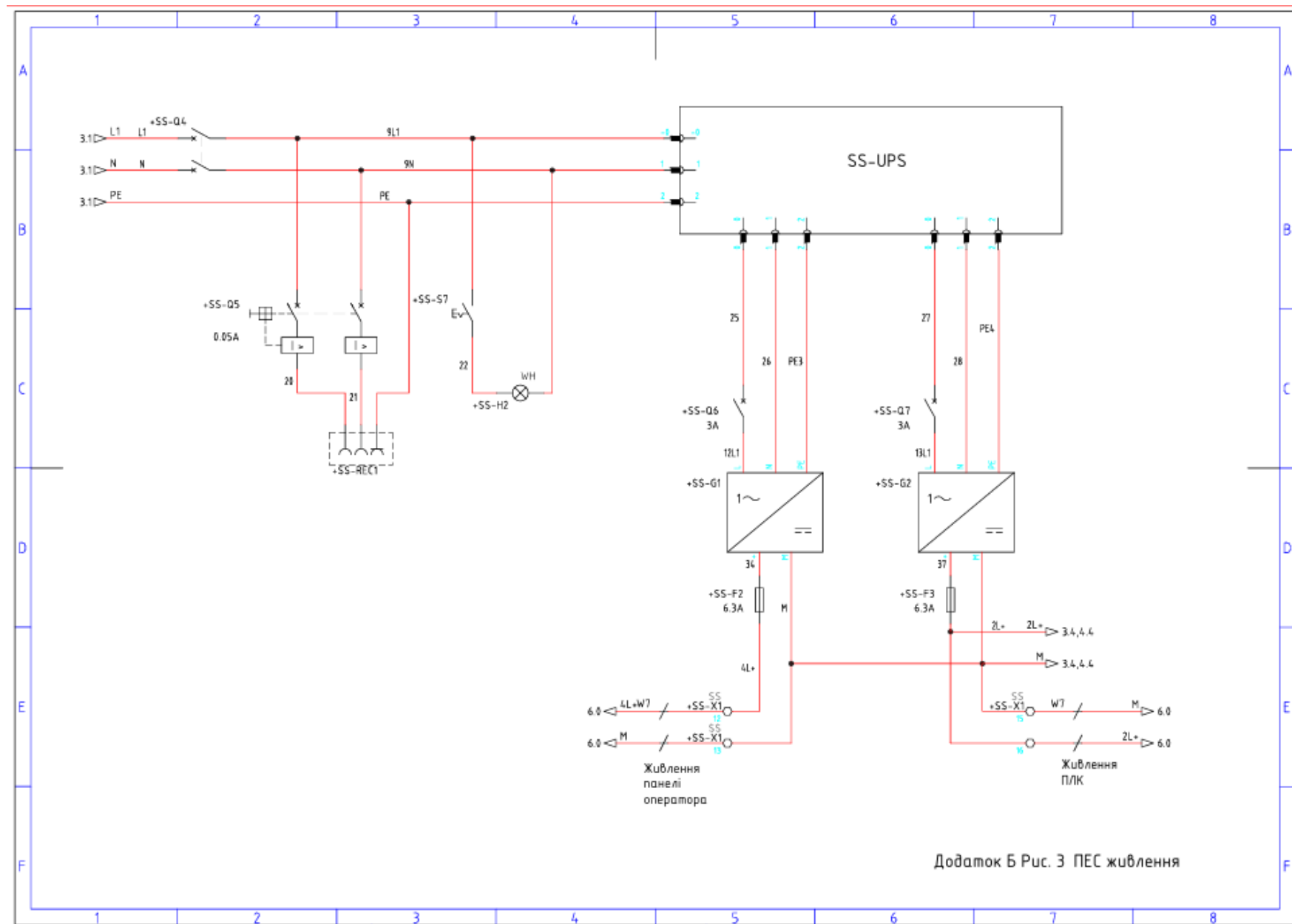
ДОДАТОК Б. Документація до принципової електричної схеми

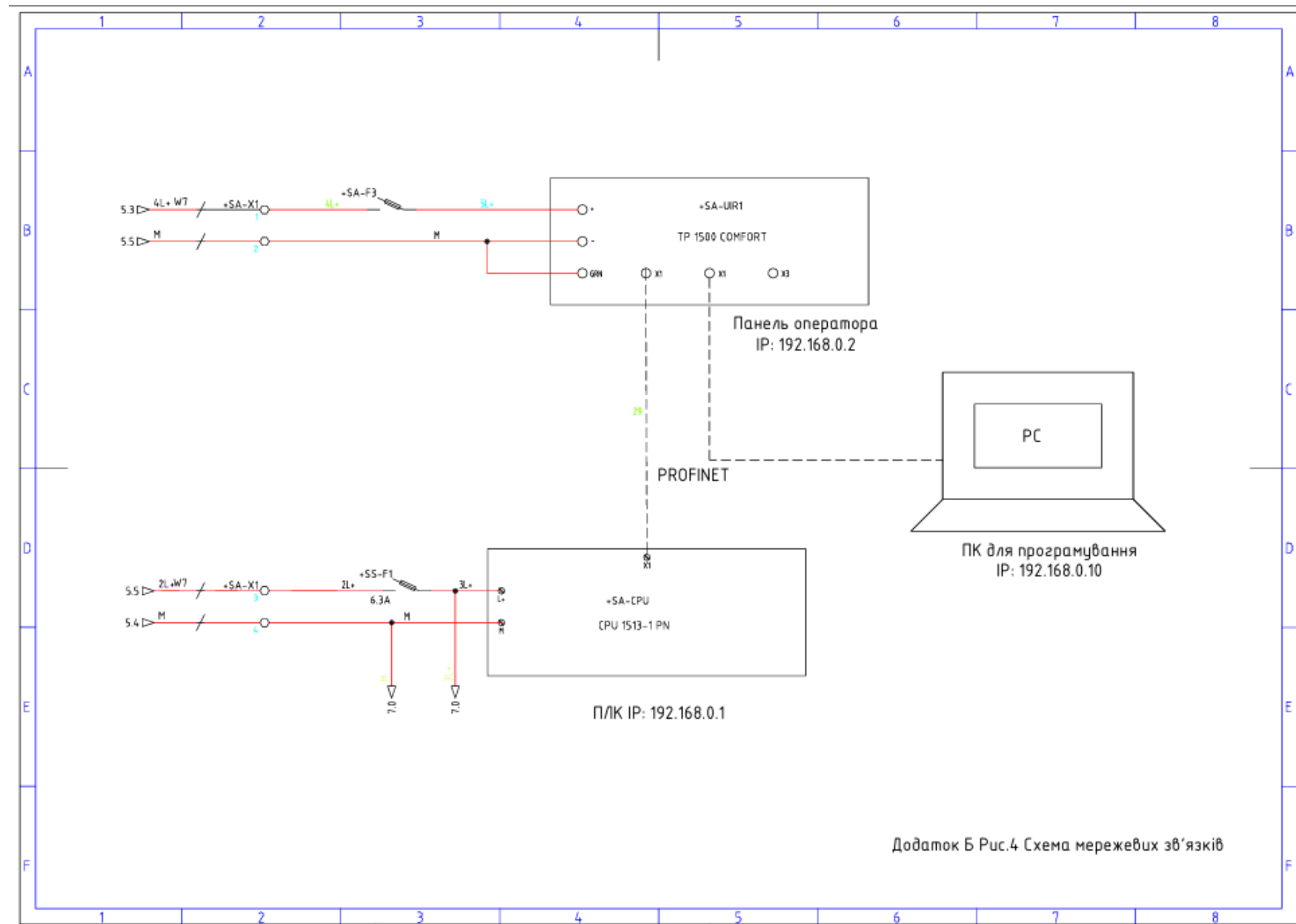
Таблиця Б1 – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми

Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	Електропривід		
Q11	Автомат захисту двигуна Schneider Electric GV3P65	1	
KM1	Контактор Schneider Electric LC1E65M5	1	
K2	Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24V DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	1	
S4	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	1	
S3	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	1	
S2	Кнопка 22 мм, кругла, пластикова, 1 червона, без фіксації, 1H3 Siemens: 3SU1100-0AB20-1CA0	1	
H1	Індикатор світловий, метал, 24V AC / DC, Білий Siemens: 3SU1132-0AD60-3AA0	1	
	Схема живлення		
Q4	Автоматичний вимикач Siemens: 5SL6210-6	1	
USB	Smart-UPS LogicPower-1000 PRO	1	
G1, G2	PS 60W 24/48/60VDC (6ES7505-0RA00-0AB0)	2	
Q5	MITSUBISHI CP-S-2P-0.05A	1	
F2, F3	TELEMECANIQUE ABE7FU630	2	
	<u>DI</u>		
PLC1	DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)	1	
F1	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
PS/8	Реле тиску Danfoss BCP4H	1	
PS/9	Реле тиску Danfoss KP44	1	

LS/10	Реле рівня EASYTREK SP 500	1	
	<u>DO</u>		
PLC2	модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)	1	
K3 K4	Реле проміжне Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24B DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS)	2	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
	<u>AI</u>		
PLC3	Модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00- 0AB0)	1	
TY/5 TY/6	Датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П) 1-28, 2-48	2	
	<u>AO</u>		
PLC4	Модуль АО 4xU/I/6ES7 (532-5HD00- 0AB0)	1	
TCV5, TCV6	Регулюючий клапан RV-210 з електроприводом RTN 2 Ekorex	2	







Додаток Б Рис.4 Схема мережевих зв'язків

