

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



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
на тему
«Автоматизація процесу керування процесом
зберігання плодоовочевої продукції»
на підприємстві
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача Тесакова К.А.,
(прізвище, ініціали)
4 курсу, групи А-40

Керівник: доцент Муратов В.Г.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти:

(посада, прізвище та ініціали)

(посада, прізвище та ініціали)

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від «__» _____ 20__ р., протокол № ____

Завідувач(ка) кафедри АТПіРС _____
(назва кафедри) (підпис) Підпис

І.М. Світий
(ПІБ)

Одеса – 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>Автоматизації та робототехніки</u>
Кафедра	± <u>Автоматизації технологічних процесів і</u>
Ступінь вищої освіти	<u>робототехнічних систем</u>
Спеціальність	<u>Бакалавр</u>
Освітньо-професійна програма	<u>151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u> <u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в</u> <u>автоматизації</u>
	±

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС
В.А. Хобін

«02» вересня 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА Здобувач Тесаков Костянтин Андрійович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування процесом зберігання плодовоовочевої продукції»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Муратов Віктор Георгійович, к.т.н. доцент
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 475-03 від 22.08.22 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи «11» червня 2024 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт.
5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):
Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК
Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.

Розділ 6. 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.

Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	<i>Керівник КРБ за наказом</i>		
Розділи 2, 3	<i>Керівник курсової роботи з ТАУ</i>		
Розділ 4	Світій І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	<i>Левінський В.М., доц. каф.</i>		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9	Савенко І.І., проф. кафедри МіІ		

7. Дата видачі завдання 02 січня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер розділу	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Розділ 1	«04» березня 2024 р.	
Розділ 2	«18» березня 2024 р.	
Розділ 3	«01» квітня 2024 р.	
Розділ 4	«15» квітня 2024 р.	
Розділ 5	«29» квітня 2024 р.	
Розділ 6	«13» травня 2024 р.	
Розділ 7	«27» травня 2024 р.	
Розділ 8	«03» червня 2024 р.	
Розділ 9	«10» червня 2024 р.	

Здобувач

Тесаков К.А.

Керівник роботи

Муратов В.Г.

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

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

Здобувач Тесаков К.А.
Прізвище, ініціали


Підпис

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Тесакова Костянтина Андрійовича «Автоматизація процесу керування процесом зберігання плодоовочевої продукції» викладена на 97 сторінках, кількість таблиць 11, рисунків – 53, додатків – 8, джерел з переліку посилань - 10.

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

Об'єкт розробки – система автоматичного керування процесом зберігання плодоовочевої продукції.

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

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

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

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ.....	2
ВСТУП	7
Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.....	10
1.1 Загальний аналіз технологічного процесу, реалізованого агрегатом, цілей і умов його ведення.....	10
1.2 Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і отримання його параметричної схеми.....	13
1.3 Розробка структурної схеми об'єкту керування	14
1.4 Потенційні джерела економічної ефективності	15
1.5 Висновки до розділу 1	16
Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	17
2.1. Аналіз технологічного процесу зберігання плодоовочевої продукції.....	17
2.2. Визначення ключових параметрів регулювання	18
2.3. Розробка моделей технологічного процесу	19
2.4. Оцінка ефективності реалізації комплексних моделей	25
2.5 Висновок до розділу 2	29
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.....	31
3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом.....	31
3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури	34
3.3 Висновки за розділом	39
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом	40
4.1.Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом зберігання плодово-овочевої продукції.....	40
4.2. Формалізація регламентів функціонування за пуском, технологічною та аварійної зупинкою технологічного процесу Раніше розглядалися регламенти на роботу процесу зберігання плодовоовочевої продукції, основні з них наведені в табл.4.1	42
4.3. Розробка алгоритмів автоматичного логічного керування за пуском, зупинкою та аварійною зупинкою (циклом роботи) технологічного агрегату	44
4.4. Розробка функціонально логічної схеми (ФЛС) керування процесом кондиціонування	49
4.5.Моделювання роботи алгоритму керування в середовищі MatLab.....	51

4.6. Результати моделювання роботи САК	52
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.....	55
5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації й обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів і місць їх розміщення	55
5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	57
5.3. Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням	57
5.4 Висновок до розділу 5	60
Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.	61
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж	61
6.2. Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування.....	63
Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.	66
7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора технолога.....	66
Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.....	70
8.1. Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення	70
8.2. Основні технічні рішення.....	71
8.3 Опис принципової електричної схеми.....	75
8.4. Розробка принципових електричних схем живлення	79
8.5. Розробка документації щита оператора.....	81
8.6. Розробка схеми зовнішніх проводок.....	82
Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.	84
9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації	84
Загальна вартість.....	85
Висновок.....	85
Висновки дипломної роботи	86

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасні методи автоматизації дозволяють зменшити втрати продукції під час зберігання, знизити витрати на обслуговування складських приміщень та забезпечити оптимальні умови для тривалого збереження свіжості овочів і фруктів. Використання автоматизованих систем контролю температури, вологості та інших параметрів створює передумови для зменшення впливу людського фактору та підвищення точності керування процесами зберігання. Це, в свою чергу, сприяє збереженню якості продукції, зменшенню втрат і збільшенню прибутковості підприємств аграрного сектору. Таким чином, дослідження автоматизації процесу зберігання плодоовочевої продукції є важливим та актуальним кроком для розвитку галузі.

Запровадження інноваційних технологій автоматизації в процесі зберігання плодоовочевої продукції дозволяє також покращити логістичні процеси, забезпечуючи більш ефективно управління запасами та своєчасне постачання продукції на ринок. Це важливо не лише для великих аграрних підприємств, але і для малих та середніх господарств, які прагнуть залишатися конкурентоспроможними на сучасному ринку.

Отже, дослідження та впровадження автоматизованих систем управління процесом зберігання плодоовочевої продукції є актуальним напрямком, що сприяє розвитку інноваційної інфраструктури агропромислового комплексу, підвищенню ефективності виробництва, зменшенню втрат та забезпеченню стабільного постачання якісної продукції споживачам.

Метою дипломної роботи є підвищення конкурентоздатності підприємства за рахунок підвищення ефективності допоміжного процесу зберігання плодово-овочевої продукції шляхом розробки обґрунтованих технічних рішень зі створення модернізованої САР процесом. Для досягнення поставленої мети визначенні завдання:

- проаналізувати процес дозрівання сирів 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;

Об'єктом дослідження є система зберігання плодовоовочевої продукції, включаючи всі її компоненти та процеси, які впливають на збереження якості продукції протягом певного періоду часу. Це включає в себе фізичні та технічні засоби зберігання (склади, холодильники, системи вентиляції та контролю клімату), а також технологічні процеси, пов'язані з управлінням цими засобами, такі як моніторинг умов зберігання, автоматизація регулювання параметрів (температура, вологість, газове середовище) та системи контролю і управління.

Предметом дослідження є процеси автоматизації управління системою зберігання плодовоовочевої продукції. Це включає в себе технології, алгоритми та програмні рішення, які використовуються для моніторингу та регулювання параметрів зберігання, з метою забезпечення оптимальних умов для довготривалого збереження якості продукції. Особлива увага приділяється розробці та впровадженню автоматизованих систем контролю температури, вологості, вентиляції та інших параметрів, що впливають на збереження свіжості та мінімізацію втрат плодовоовочевої продукції.

Методи дослідження, які використовуються у дипломній роботі : математичне моделювання (розробка математичних моделей процесів зберігання та автоматизованого управління, системний аналіз (дослідження

взаємозв'язків між різними компонентами), системи зберігання, оцінка їхньої ефективності та впливу на загальну продуктивність системи, інформаційне моделювання та симуляція, використання програмного забезпечення для моделювання автоматизованих систем зберігання.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що основні положення, викладені автором у роботі, доведені до рівня конкретних рекомендацій та прикладних розробок і можуть бути використані в діяльності підприємства.

Розділ 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 Загальний аналіз технологічного процесу, реалізованого агрегатом, цілей і умов його ведення

Суть технологічного процесу – це цілеспрямоване перетворення продуктових і енергетичних потоків у спеціальному технологічному устаткуванні (ТУ) (машинах, апаратах, агрегатах). Суть технологічного процесу зберігання плодово-овочевої продукції, зберегти свіжість продукцію протягом тривалого часу.

Технологічний процес реалізується в камері зберігання. Технологічна схема процесу наведена на рис. 1.1.

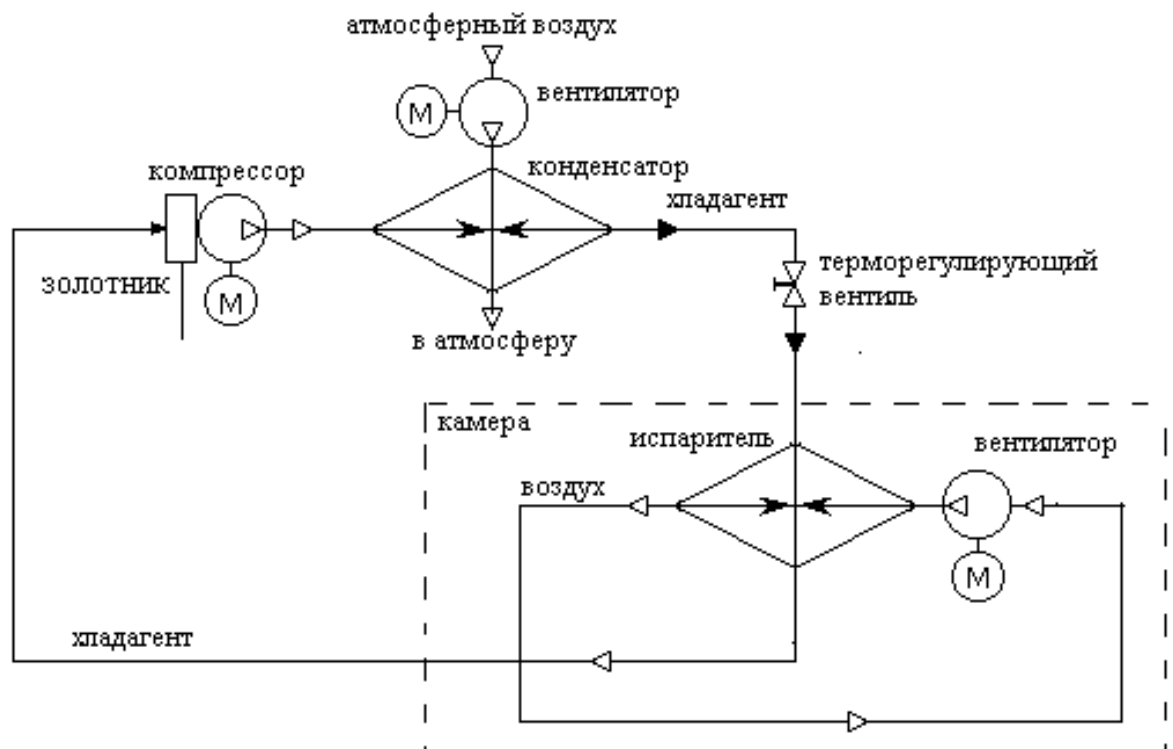


Рис. 1.1 – Технологічна схема процесу зберігання плодово-овочевої продукції

Сучасний підхід зберігання і реалізації овочів і фруктів ґрунтується на постійному охолодженні продукції. Плоди охолоджуються відразу після збору, зберігаються і транспортуються в охолодженому або замороженому вигляді, знаходяться в охолодженому стані в магазині.

Більшість овочів найкраще зберігати при температурах 0-8 ° С. Для стійких до впливу холоду коренеплодів (морква, буряк тощо) температура зберігання становить 0-2 °С, картопля: 2-3 °С, помідори і огірки взагалі не переносять близькі до 0 ° С температури. Їх необхідно зберігати в умовах від 10 °С. Підвищення цього показника на кожні 10 °С буде зменшувати термін зберігання в 2-3 рази.

1.1.2 Опис конструкції технологічного агрегату та особливостей його експлуатації.

Гвинтовий компресор стискає пари холодоагенту і направляє їх у конденсатор. Продуктивність компресору змінюється при зміні положення золотника. У конденсаторі за рахунок примусового охолодження атмосферним повітрям холодоагент конденсується. Рідкий холодоагент проходить через дроселюючий пристрій (терморегулювальний вентиль) і скипає у випарнику, переходячи в газоподібний стан, забираючи для цього тепло з повітря, що обдуває випарник. Пари холодоагенту, що утворилися, по лінії усмоктування надходять у компресор.



Рисунок 1.2 – Камера зберігання плодово-овочевої продукції

1.1.3 Формулювання умов, при яких можливо й доцільно реалізувати розглянутий технологічний процес.

Мета ведення процесу зберігання плодово-овочевої продукції– продовження терміну зберігання продукції. При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдано тільки тоді, коли технологічний процес має сенс реалізувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу.

Технологічний процес зберігання плодово-овочевої продукції доцільно реалізовувати, якщо:

- є запас продукції на 1 сезон роботи камери
- є мінімально припустимий тиск холодагенту у трубопроводі;
- повинна бути електроенергія в колах електричного живлення вентиляторів та компресора із середньостатистичними параметрами мережі $230\text{В} \pm 10\%$, 50 Гц.

1.1.4 Параметризація схеми технологічного процесу, загальна характеристика параметрів і їх взаємозв'язків.

Технологічний процес зберігання плодово-овочевої продукції є тепломасообмінним процесом, пов'язаним з теплообміном повітря. Проведемо параметризацію технологічної схеми. Результати параметризації наведені на рис. 1.4.

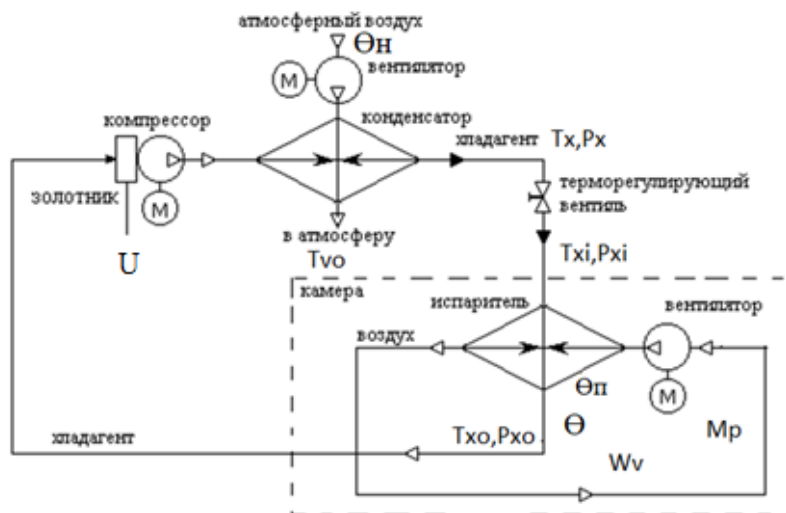


Рис. 1.3 – Параметризована технологічна схема процесу зберігання плодово-овочевої продукції

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

Θ_n - температура повітря з атмосфери, $^{\circ}\text{C}$;

T_{vo} - температура повітря до атмосфери, $^{\circ}\text{C}$;

T_x - температура холодагенту після конденсатора, $^{\circ}\text{C}$;

P_x - тиск холодагенту після конденсатора, Па;

T_{xi} - температура холодагенту після ТРВ, $^{\circ}\text{C}$;

P_{xi} - тиск холодагенту після ТРВ, Па;

Θ_p – температура повітря на виході випарника, $^{\circ}\text{C}$;

Θ - температура повітря в камері, $^{\circ}\text{C}$;

W_v – вологість продукту, %;

M_p - маса продукту в камері, кг;

T_{xo} - температура холодагенту після випарника, $^{\circ}\text{C}$;

P_{xo} - тиск холодагенту після випарника, Па;

U_m – напруга мережі.

f – частота змінної напруги у електромережі.

U – положення золотника, %х.р.о;

1.2 Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і отримання його параметричної схеми.

Параметризована схема ТП має змістовний характер. Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами ТП досягається за рахунок переходу до формалізованої параметричної схеми ТП. При цьому ті параметри, які відображають мету функціонування об'єкту моделювання та додаткових вимог до нього, тобто регламентовані параметри будуть вихідними, а параметри, що відображають умови функціонування об'єкту - вхідними.

Зв'язок між вхідними і вихідними параметрами – причинно-наслідковий. У рамках даної схеми ці зв'язки задаються тільки на якісному рівні, згодом деякими зв'язками можна буде знехтувати, деякі представити опосередковано.

Параметрична схема процесу зберігання плодово-овочевої продукції наведена на рис. 1.4.

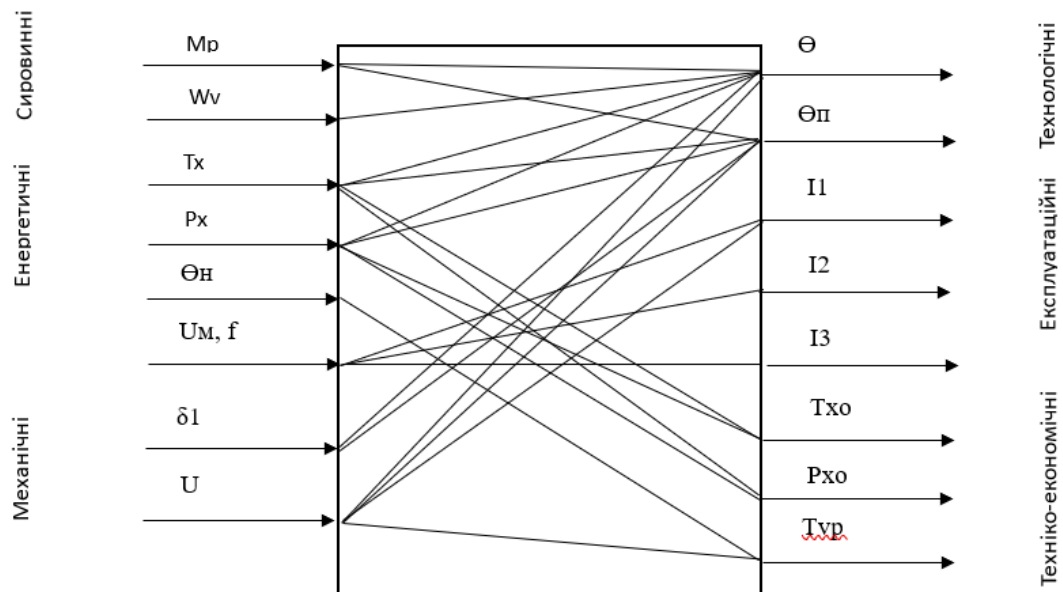


Рис. 1.4 – Параметрична схема процесу зберігання плодово-овочевої продукції

1.3 Розробка структурної схеми об'єкту керування

1.3.1 Конкретизація мети і завдань керування об'єктом, виявлення регульованих координат.

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

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

- а) на рівні окремого технологічного процесу – координація роботи технологічного обладнання, на якому реалізується процес;
- б) на рівні окремих одиниць технологічного обладнання – виконання технологічних, експлуатаційних і техніко-економічних регламентів, зокрема – оптимізація роботи окремих одиниць обладнання.

Звідси задачу керування можна розділити на:

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

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

Для процесу зберігання плодово-овочевої продукції в якості регульованих координат доцільно обрати температуру в камері Θ та температуру повітря на виході випарника $\Theta_{\text{п}}$.

Структурна схема процесу зберігання плодово-овочевої продукції наведена на рис. 1.6.

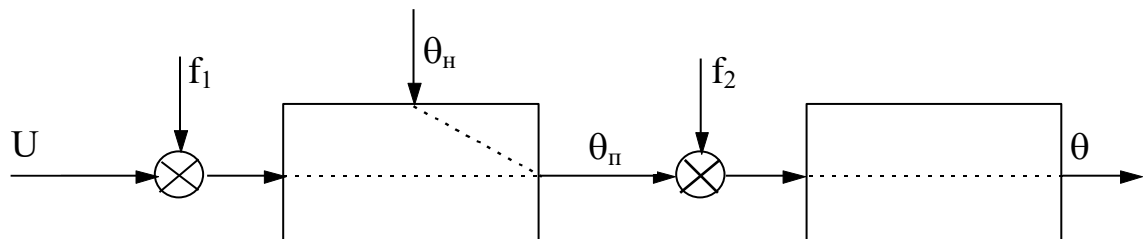


Рис. 1.5 – Структурна схема процесу зберігання плодово-овочевої продукції як об'єкту регулювання

На рисунку:

- θ – температура повітря в складі, $^{\circ}\text{C}$;
- $\theta_{\text{п}}$ – температура повітря на виході випарника холодильної машини, $^{\circ}\text{C}$;
- $\theta_{\text{н}}$ – збурення зміною температури зовнішнього повітря;
- U – регулюючий вплив – зміна положення золотника гвинтового компресора холодильної машини, % х.р.о.;
- f_1, f_2 – неконтрольовані збурення.

1.4 Потенційні джерела економічної ефективності

1. Оптимізація енергоспоживання: Використання сучасних

технологій автоматизації дозволяє значно скоротити енергоспоживання. Наприклад, системи з інтелектуальним управлінням можуть регулювати роботу холодильних установок, зменшуючи їхнє навантаження під час низького попиту на охолодження.

2. Зниження витрат на персонал: Автоматизація багатьох процесів, таких як контроль умов зберігання і управління запасами, дозволяє

зменшити потребу в ручній праці. Це, в свою чергу, скорочує витрати на заробітну плату та підвищує продуктивність праці.

3. **Покращення логістики:** Автоматизовані системи управління запасами дозволяють краще планувати поставки та розподіл продукції, що знижує витрати на транспорт та зберігання. Це також зменшує ризик дефіциту або надлишку продукції.
4. **Мінімізація використання консервантів:** Завдяки точному контролю умов зберігання можна зменшити або навіть виключити потребу в хімічних консервантах, що не тільки економічно вигідно, але й покращує екологічність виробництва.

1.5 Висновки до розділу 1

У першому розділі було здійснено аналіз актуальності та важливості теми автоматизації процесу зберігання плодоовочевої продукції. Було розглянуто основні аспекти, що впливають на якість та ефективність зберігання продукції, визначено об'єкт і предмет дослідження, а також методи, які будуть використовуватися для досягнення цілей дослідження.

Аналіз літературних джерел та поточних досліджень у сфері автоматизації систем зберігання продемонстрував, що сучасні технології можуть суттєво знизити втрати продукції, оптимізувати енергоспоживання та зменшити витрати на обслуговування складських приміщень. Автоматизовані системи дозволяють створювати оптимальні умови для зберігання плодоовочевої продукції, що позитивно впливає на її тривалість і якість збереження.

Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання

2.1. Аналіз технологічного процесу зберігання плодоовочевої продукції

Основні вимоги до зберігання плодоовочевої продукції

Сучасний підхід зберігання і реалізації овочів і фруктів ґрунтується на постійному охолодженні продукції. Плоди охолоджуються відразу після збору, зберігаються і транспортуються в охолодженому або замороженому вигляді, знаходяться в охолодженому стані в магазині.

Більшість овочів найкраще зберігати при температурах 0-8 ° С. Для стійких до впливу холоду коренеплодів (морква, буряк тощо) температура зберігання становить 0-2 °С, картопля: 2-3 °С, помідори і огірки взагалі не переносять близькі до 0 ° С температури. Їх необхідно зберігати в умовах від 10 °С. Підвищення цього показника на кожні 10 °С буде зменшувати термін зберігання в 2-3 рази.

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. До цієї групи параметрів можна віднести:

$T_{хо}$ – температура холодагенту після випарника, °С;

$P_{хо}$ – тиск холодагенту після випарника, Па;

$T_{вр}$ – температура повітря до атмосфери, °С;

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від номінальних прийнято розділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі та короткочасні відхилення. Аналіз нормативів ведення технологічного процесу та експлуатації обладнання оформимо у вигляді таблиці регламентів 2.1.

Таблиця 2.1 – Таблиця регламентів

№	Найменування параметрів	Познач.	Од. вим.	Ном. знач. параметру	Припустимі відхилення від номіналу		
					Тривалі ($t \rightarrow \infty$)	Короткочасні ($0 < t < \infty$)	
					Велич.	Велич.	t, сек
1	Температура повітря в складі	Θ	°C	3	±2	±5	360 с
2	Температура повітря на виході випарника холодильної машини	Θп	°C	0	±1	±3	200 с

2.2. Визначення ключових параметрів регулювання

Для процесу зберігання плодово-овочевої продукції в якості регульованих координат доцільно обрати температуру в камері Θ та температуру повітря на виході випарника Θп.

Для процесу зберігання плодово-овочевої продукції до керуючих дій доцільно віднести положення регулюючого органу, а саме положення золотника (u).

Для процесу зберігання плодово-овочевої продукції до контрольованих збурень доцільно віднести зміну температури зовнішнього повітря. Всі інші входні дії, крім керуючих дій, віднесемо до неконтрольованих збурень f_1 та f_2 . Детерміновану складову цих збурень адитивно прикладемо до керуючих дій, а стохастичну складову – до регульованої координати.

Структурна схема процесу зберігання плодово-овочевої продукції наведена на рис. 2.1.

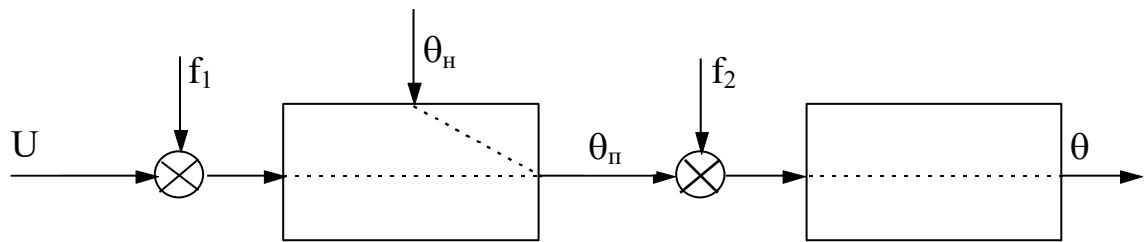


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу зберігання плодово-овочевої продукції як об'єкту регулювання

На рисунку:

θ – температура повітря в складі, $^{\circ}\text{C}$;

$\theta_{\text{п}}$ – температура повітря на виході випарника холодильної машини, $^{\circ}\text{C}$;

$\theta_{\text{н}}$ – збурення зміною температури зовнішнього повітря;

U – регулюючий вплив – зміна положення золотника гвинтового компресора холодильної машини, % х.р.о.;

f_1, f_2 – неконтрольовані збурення

2.3. Розробка моделей технологічного процесу

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

Для технологічного процесу зберігання плодово-овочевих продуктів ОК за всіма каналами має властивості самовирівнювання, отже є статичним, оскільки є тепломасообмінним. Збільшення керуючої дії, пов'язаної зі зміною положення золотника приведе збільшення температури в камері. Збільшення керуючої дії, зі зміною положення золотника приведе до збільшення температури повітря до атмосфери.

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

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

План активного експерименту

1. За допомогою зміни управляючої дії домагаємося значення регульованої координати, що перебувало б в околиці її номінального значення. Для нашого ОК значенню $u=45\%x.p.o.$ буде відповідати значення регульованої координати $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Чекаємо закінчення перехідного процесу в каналі та настання сталого режиму, при якому регульована координата перестане змінюватися.
3. Змінимо управляючу дію ступінчастим чином на $10\%x.p.o.$, відзначивши при цьому момент початку його зміни.
4. Реєструємо зміну регульованої координати та сигналу в проміжній точці ОК до настання нових сталих режимів.

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.2.

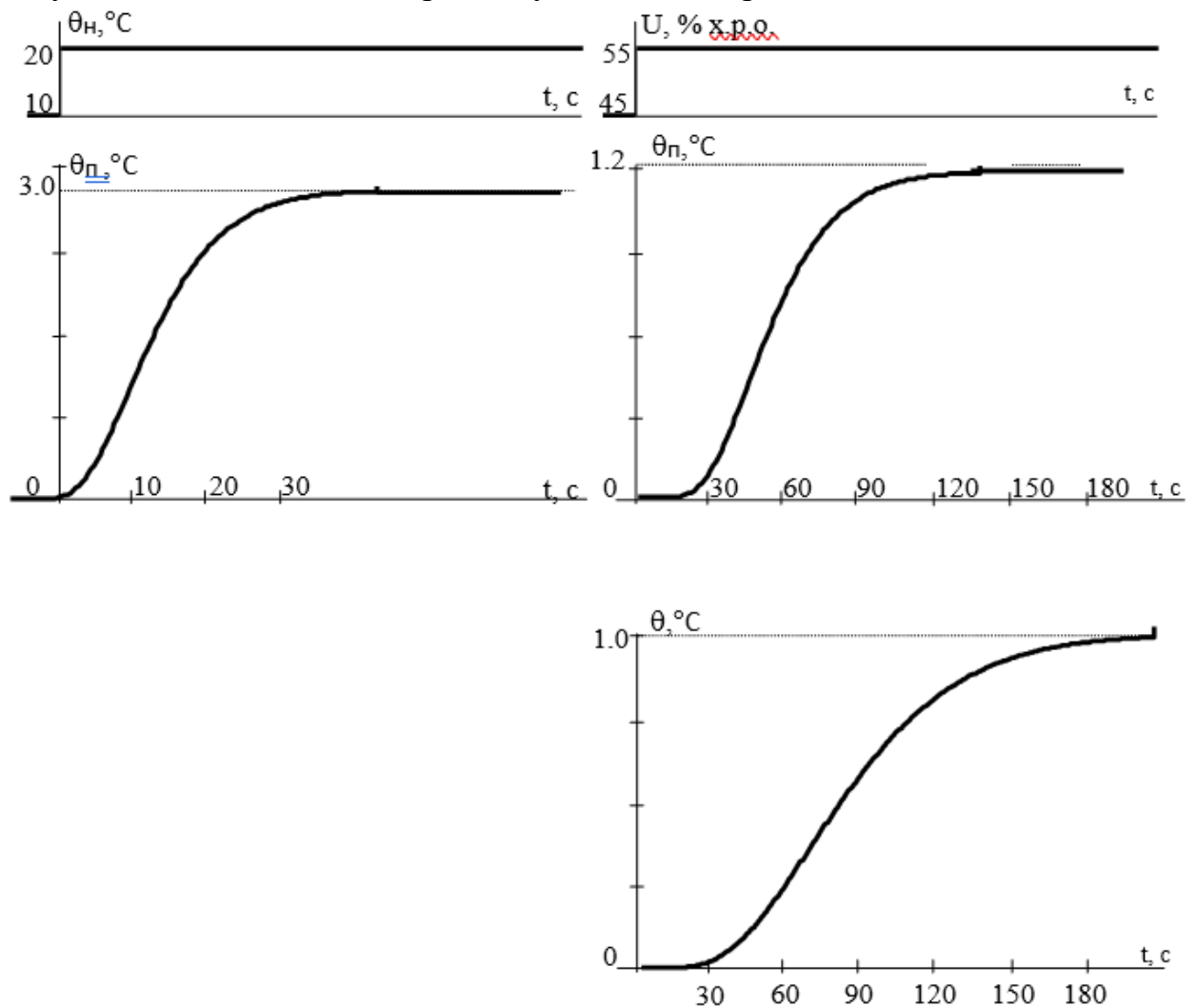


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту

Аналіз отриманої в ході експерименту інформації, обґрунтування та вибір структури моделей каналів (структурна ідентифікація моделей).

За результатами активного експерименту (рис. 2.1) можна зробити висновок, що за всіма канал наш ОК має властивість самовирівнювання, а тому може бути описаний передаточними функціями такого вигляду:

$$W_o(p) = \frac{K_o \cdot e^{-\tau_o p}}{T_o p + 1}; W_o(p) = \frac{K_o \cdot e^{-\tau_o p}}{(T_o p + 1)^2} \quad (2.1)$$

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

Параметричну ідентифікацію математичних моделей каналів ОК проведимо за методиками «двох загальних точок» для моделей 1-го та 2-го порядку. Для параметричної ідентифікації моделей зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК (K_o), сталу часу (T_o) і час запізнення (τ_o).

Канал «U – θ_n »

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta\theta_n}{\Delta u_1} = \frac{1,2 - 0}{55 - 45} = 0,12 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о.} \quad (2.2)$$

Для моделі 1-го порядку

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

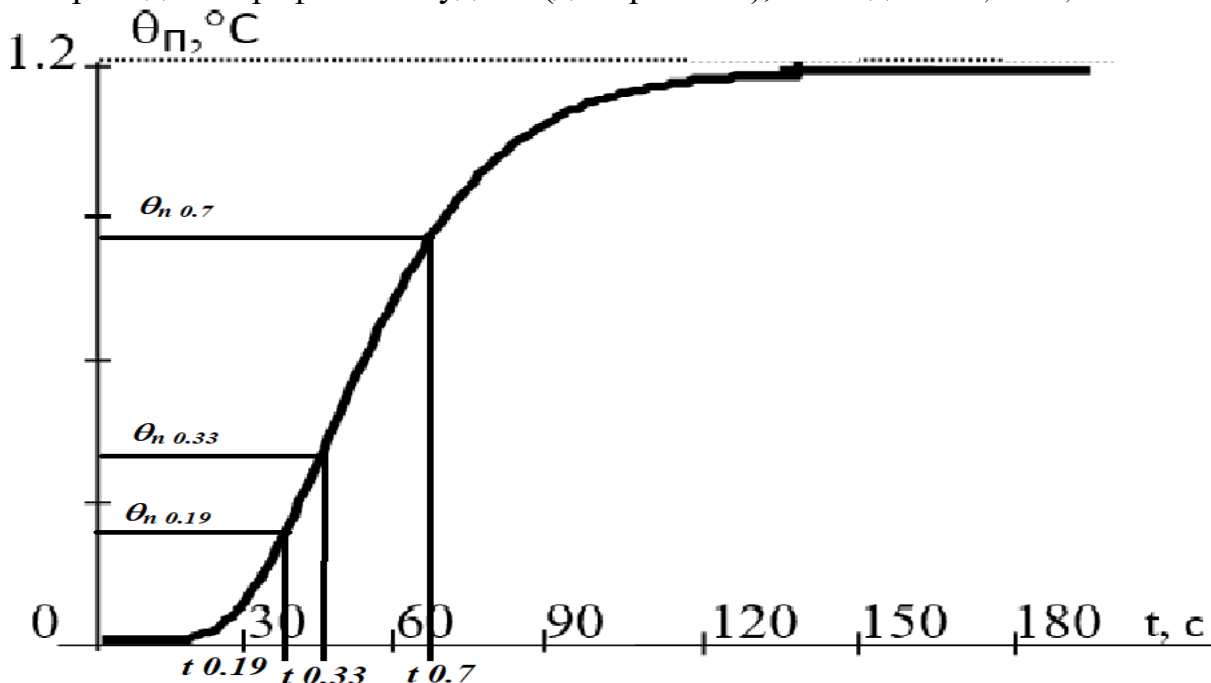


Рис. 2.3 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом «U – θ_n »

$$t_{0,33} = 45 \text{ c}$$

$$t_{0,7} = 67 \text{ c}$$

$$\Delta\theta_n = 1,2 - 0 = 1,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{0,33} = 0,33 \cdot \Delta\theta_n + \theta_{n_0} = 0,33 \cdot 1,2 + 0 = 0,396 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{0,7} = 0,7 \cdot \Delta\theta_n + \theta_{n_0} = 0,7 \cdot 1,2 + 0 = 0,84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 45 - 67) = 34 \text{ c} \quad (2.3)$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (67 - 34) / 1,2 = 27,5 \text{ c} \quad (2.4)$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W(s) = \frac{0,12 \cdot e^{-34s}}{27,5s + 1} \quad (2.5)$$

Коефіцієнт передачі ОК за каналом « $\Theta_n - \Theta$ » визначають за наступною методикою:

Особливістю цієї схеми є неможливість інженерними методиками в чистому вигляді отримати модель ОК за каналом " $\Theta_n - \Theta$ " при наявності таких можливостей за каналами " $U - \Theta_n$ " та " $U - \Theta$ ". У такому разі отримання необхідної моделі каналу ОК здійснюється наступним чином. Проводиться активний експеримент та проводиться ідентифікація моделей ОК за каналами " $U - \Theta_n$ " та " $U - \Theta$ ". Надалі робиться висновок про динамічні властивості

каналу "Θπ – Θ ". Цей етап можна вважати структурною ідентифікацією моделі каналу ОК.

Якщо ОК за каналами " U – Θπ " та " U – Θ " має властивість самовирівнювання, то властивість самовирівнювання матиме і канал " Θπ – Θ ", а його модель може бути описано передаточними функціями:

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_1(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2} \quad (2.6)$$

Коефіцієнт передачі ОК зі статичними властивостями можна знайти розрахунковим шляхом. Якщо позначимо передаточну функцію ОК за каналом " U – Θπ " через W1(p), за каналом " U – Θ " через W0(p), а за каналом " Θπ – Θ " через W2(p), то за правилами еквівалентних перетворень:

$$W_0(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \Rightarrow W_2(p) = \frac{W_0(p)}{W_1(p)}.$$

$$\frac{0,1 \cdot e^{-45p}}{50p+1} = \frac{0,12 \cdot e^{-24p}}{27,5p+1} \cdot W_2(p) \Rightarrow W_2(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-45p}}{0,12 \cdot e^{-24p} \cdot 27,5p+1} \cdot \frac{50p+1}{50p+1} \quad (2.7)$$

Коефіцієнт передачі ОК за каналом " Θπ – Θ " буде визначатися за формулою:

$$K_2 = \frac{K_0}{K_1}.$$

$$K_2 = \frac{0,1}{0,12} = 0,83 \quad (2.8)$$

Для визначення T2 та τ2 моделі ОК за каналом " Θπ – Θ " у середовищі імітаційного моделювання слід зібрати схему моделювання, наведену на рис. 2.4

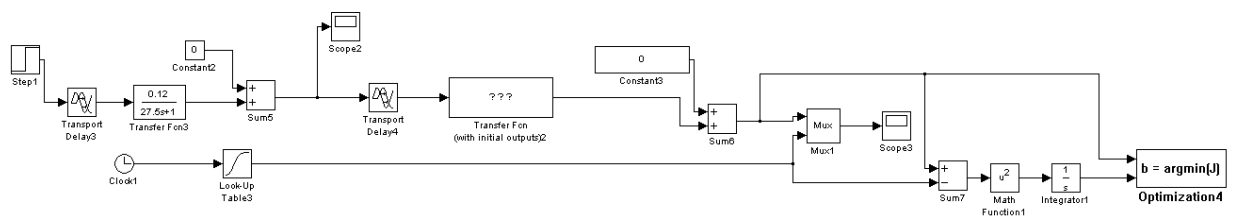


Рис.2.4- Схема моделювання каналу ОК для параметричної ідентифікації моделі 1-го порядку за каналом " Θπ – Θ "

моделі 1-го порядку за каналом " Θπ – Θ "

Оптимизация

Конкретизация задачи оптимального параметрического синтеза (ОПС)

ОПС в условиях параметрической неопределенности ОУ.
 ОПС при фиксированных параметрах ОУ.

Параметры объекта управления (ОУ)

Имена параметров:
Номинальные значения:
Нижние значения диапазонов:
Верхние значения диапазонов:

Оптимизируемые параметры (аргументы)

Имена параметров:
Начальные приближения:
Нижние ограничения:
Верхние ограничения:

Условия оптимизации (Симплекс метод Нелдера-Мида)

Максимальное количество шагов процедуры оптимизации:
Минимальное приращение аргументов:
Минимально значимое приращение критерия:

Визуализация результатов

Количество графиков:
Имена переменных отображаемых на графиках:

Рис.2.5 - Налаштування блоку оптимізації для параметричної ідентифікації моделі 1-го порядку за каналом " $\Theta_p - \Theta$ "

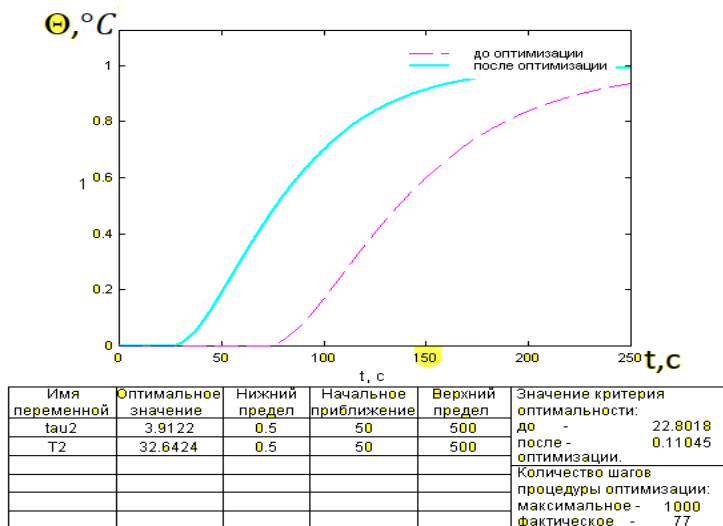


Рис. 2.6 – Результати параметричної ідентифікації моделі 1-го порядку каналу « $\Theta_p - \Theta$ » ОК

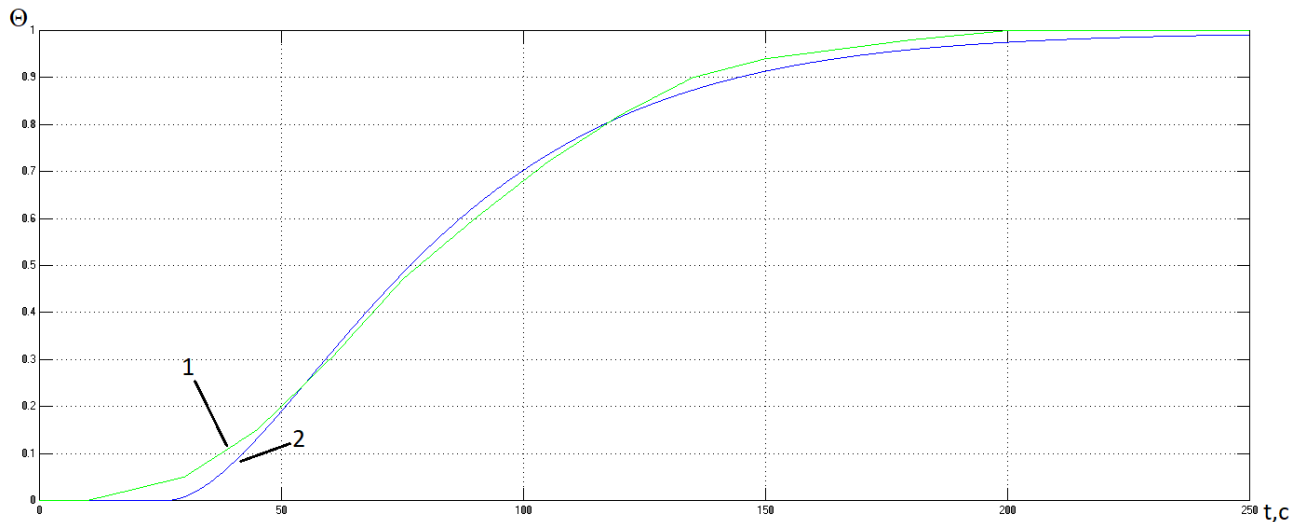


Рис. 2.7 – Результати ідентифікації моделі каналу каналу « $\Theta_{п} - \Theta$ » за моделлю 1-го порядку: 1 – експериментальні дані; 2 – модель.

2.4. Оцінка ефективності реалізації комплексних моделей

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

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2} \quad (2.8)$$

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

$$K_0 = \frac{\Delta \theta_{п}}{\Delta \theta_{н}} = \frac{3 - 0}{20 - 10} = 0.3 \quad (2.9)$$

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

Для моделі 1-го порядку

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.8), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

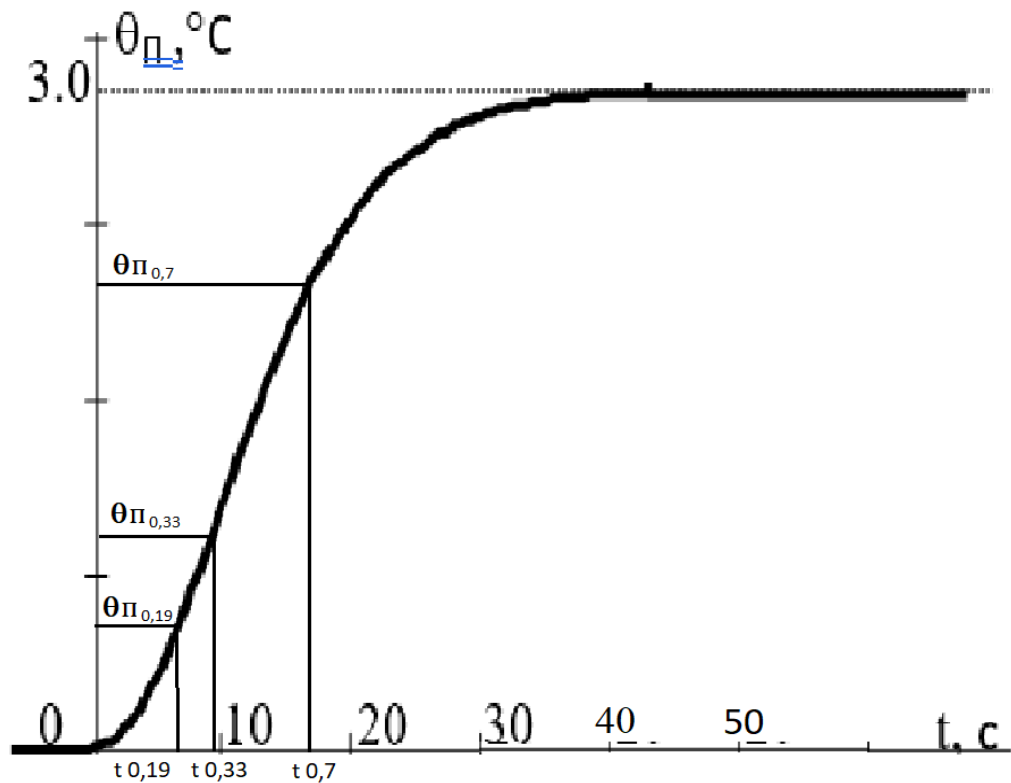


Рис. 2.8 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом контрольованого збурення

$$t_{0,33} = 9.7 \text{ c}$$

$$t_{0,7} = 15.5 \text{ c}$$

$$\Delta\theta_{\text{п}} = 3 - 0 = 3^\circ\text{C}$$

$$T_{0,33} = 0,33 \cdot \Delta\theta_{\text{п}} + \theta_{\text{п}_0} = 0,33 \cdot 3 + 0 = 0,99^\circ\text{C}$$

$$T_{0,7} = 0,7 \cdot \Delta\theta_{\text{п}} + \theta_{\text{п}_0} = 0,7 \cdot 3 + 0 = 2.1^\circ\text{C}$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 9,7 - 15,5) = 6.8 \text{ c} \quad (2.22) \quad (2.9)$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (15,5 - 6,8) / 1,2 = 7,25 \text{ c} \quad (2.23) \quad (2.10)$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-6,8s}}{7,25s + 1} \quad (2.24) \quad (2.11)$$

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1 і на рис. 2.9-2.10

Таблиця 2.2 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

№ експерименту	U, %х.р.о.	$\theta_n, ^\circ\text{C}$	$\theta, ^\circ\text{C}$	$\theta_{п}, ^\circ\text{C}$
1	45	10,0	0,0	1,2
2	55	10,0	1,0	2,4
3	65	10,0	2,0	3,6
4	75	10,0	3,0	4,8

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

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

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

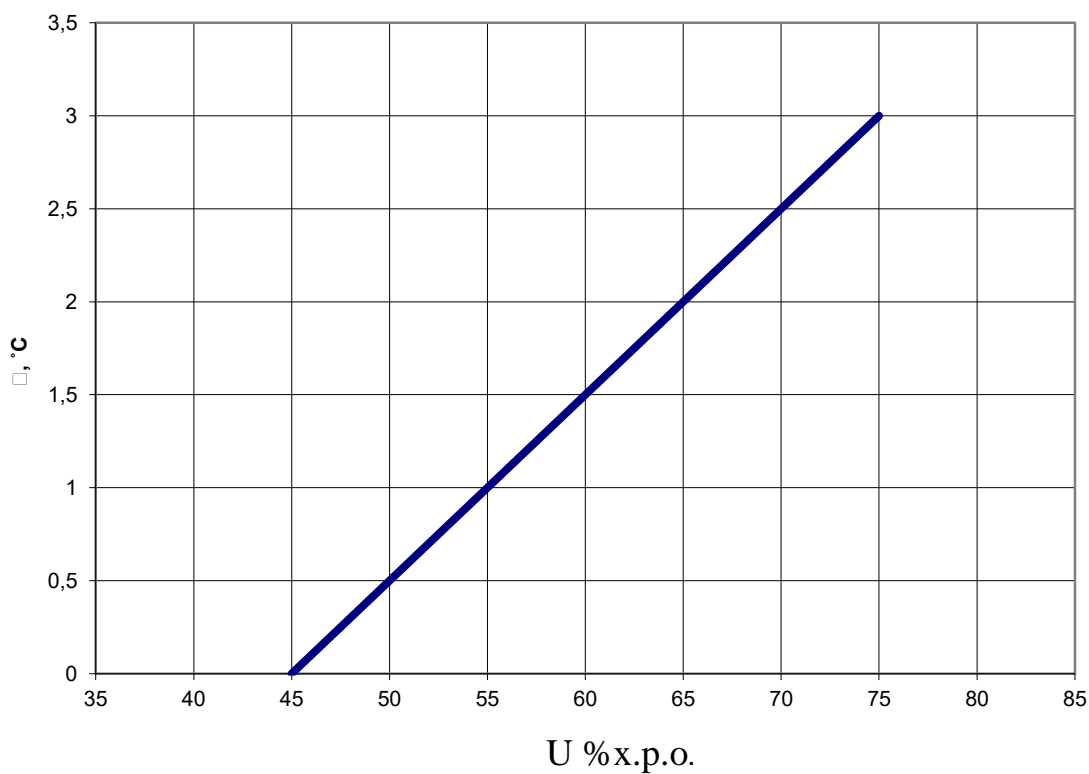


Рис. 2.9 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом «U – θ»

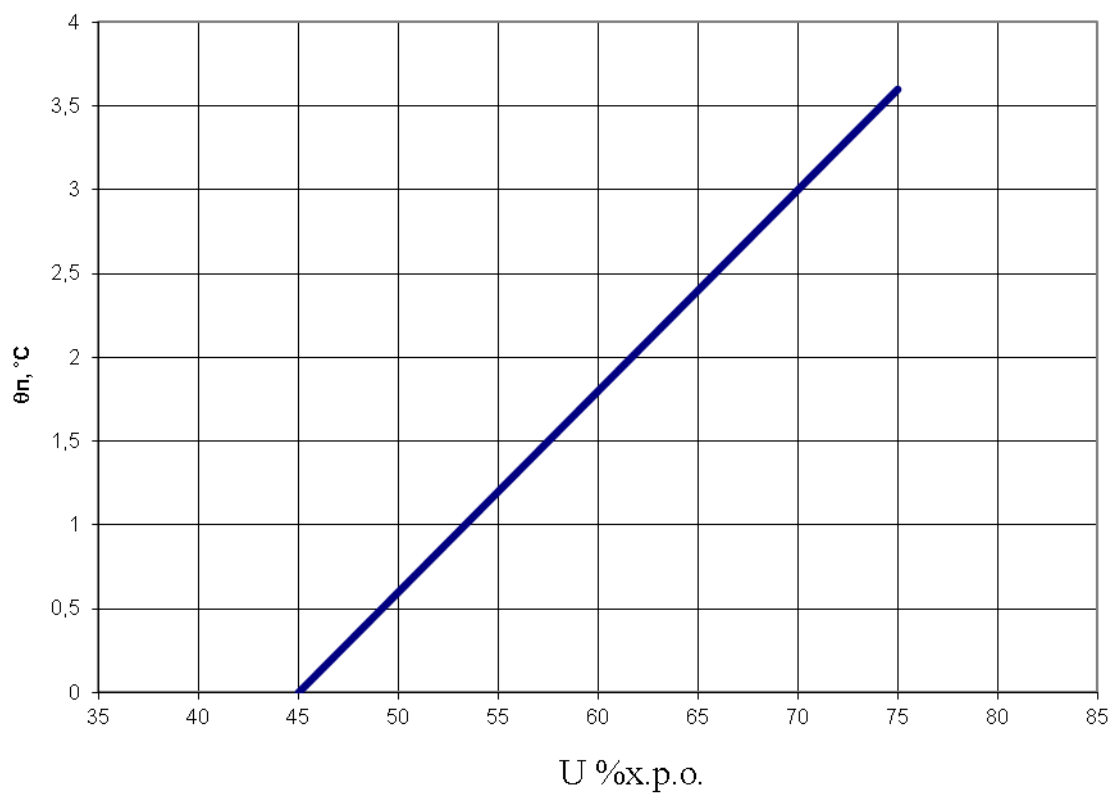


Рис. 2.10 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом «U – θп»

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(\bar{x})$. 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 \bar{a}^* вибраної моделі, що забезпечував би мінімальну суму квадратів розходження між значеннями вихідної змінної об'єкта y , отриманих у результаті експерименту $y_i, i = \overline{1, n}$ при значеннях вхідних змінних \bar{x}_i , і вихідної змінної моделі об'єкту y_M , обчисленої при тих же значеннях \bar{x} , тобто

$$\bar{a}^* = \arg \min \left\{ I(\bar{a}) = \sum_{i=1}^n \left(y_i(\bar{x}_i) - y^M(\bar{a}, \bar{x}_i) \right)^2 \right\} \quad (2.30) \quad (2.12)$$

Для досліджуваного ОК статичні характеристики можуть бути описані лінійними залежностями виду:

$$\theta = a_1 \cdot U + a_2 \cdot \theta_n + a_3 \cdot U + a_0 \quad (2.28)$$

Параметри a_1, a_2, a_3 були визначені в процесі ідентифікації в підрозділі 2.2. При цьому $a_1 = 0,12 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}; a_2 = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}, a_3 = 0,83 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}, \theta_n = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.};$

Параметр a_0 можна визначити із залежності:

$$a_0 = \theta - a_1 \cdot U - a_2 \cdot \theta_n - a_3;$$

$$a_0 = 3 - 0,12 \cdot 45 - 0,3 \cdot 10 - 0,3 = -5,7;$$

Отже, статичні характеристики досліджуваного ОК будуть описані залежностями:

$$\theta = 0,12 \cdot U + 0,3 \cdot \theta_n + 0,83 \cdot U - 5,7$$

2.5 Висновок до розділу 2

Проведений аналіз показав, що впровадження нових алгоритмів регулювання дозволило суттєво підвищити точність і стабільність підтримання параметрів зберігання. Зокрема, відхилення температури, вологості та газового складу знизились до мінімальних значень, що значно покращило умови зберігання продукції.

Енергоспоживання системи знизилосся на 15% завдяки більш ефективному управлінню охолоджувальними і вентиляційними системами. Це

не тільки зменшило витрати на енергоресурси, але й сприяло екологічній стійкості підприємства.

Якість зберігання плодоовочевої продукції покращилася, що підтверджується зменшенням відсотку втрат продукції з 10% до 3%. Це позитивно вплинуло на прибуток підприємства, збільшуючи його на 20%. Надійність і стабільність роботи системи також покращилися. Кількість відмов знизилася на 30%, а час простою системи скоротився вдвічі. Це підвищило загальну ефективність роботи системи і дозволило уникнути непередбачених збоїв у процесі зберігання.

Оцінка ефективності впроваджених алгоритмів регулювання підтвердила їхню високу результативність і доцільність використання в системі зберігання плодоовочевої продукції. Досягнуті результати дозволяють рекомендувати впроваджені алгоритми для широкого використання в агропромислових підприємствах з метою підвищення якості та економічної ефективності процесу зберігання. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення алгоритмів та їх адаптацію до різних умов зберігання та типів продукції.

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

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

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

Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

- підтримання вихідних змінних об'єкту керування (Θ та $\Theta_{п}$) на їх заданих значеннях ($\Theta_{п}^{ЗДН}$ та $\Theta_{п}^{ЗДН}$) - 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.

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 необхідно регулювати температуру в камері Θ та температуру на виході випарника $\Theta_{п}$.

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

Відповідно до нормативів ведення технологічного процесу (див. табл. 2.1) температура повітря в камері θ має підтримуватися на рівні $+3^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 2^{\circ}\text{C}$. За цим параметром припустимі короткочасні відхилення до $\pm 5^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 360 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.1. Температура повітря після випарника має підтримуватися на рівні 0°C з точністю $\pm 1\%$. За цим параметром припустимі короткочасні відхилення до $\pm 3\%$ протягом часу не більше 200 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.2.

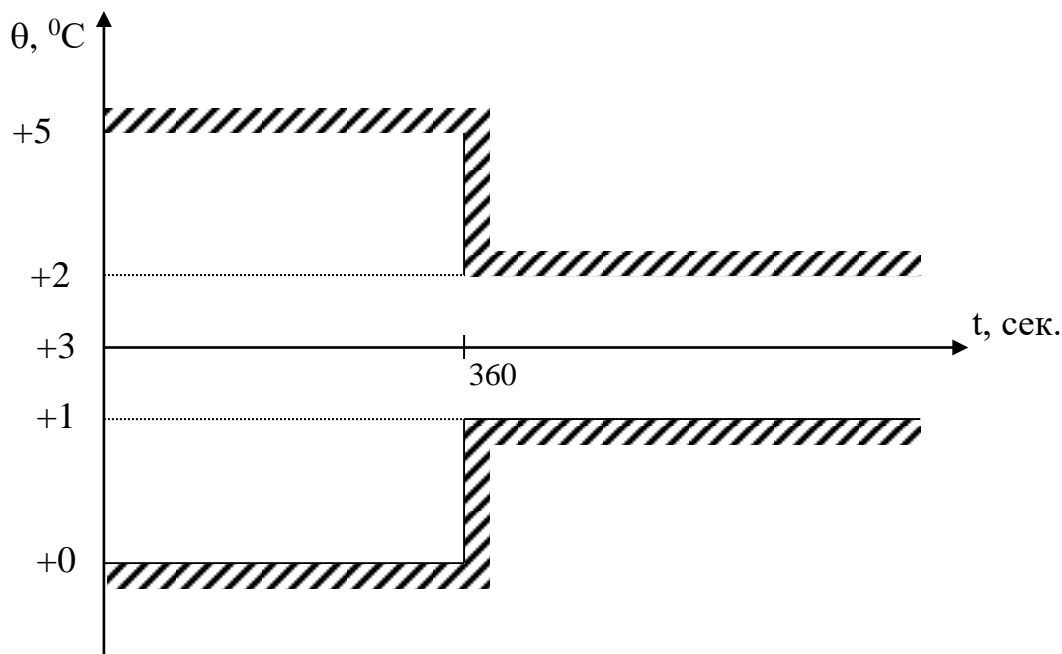


Рис. 3.1 - Регламентні зони для температури в камері

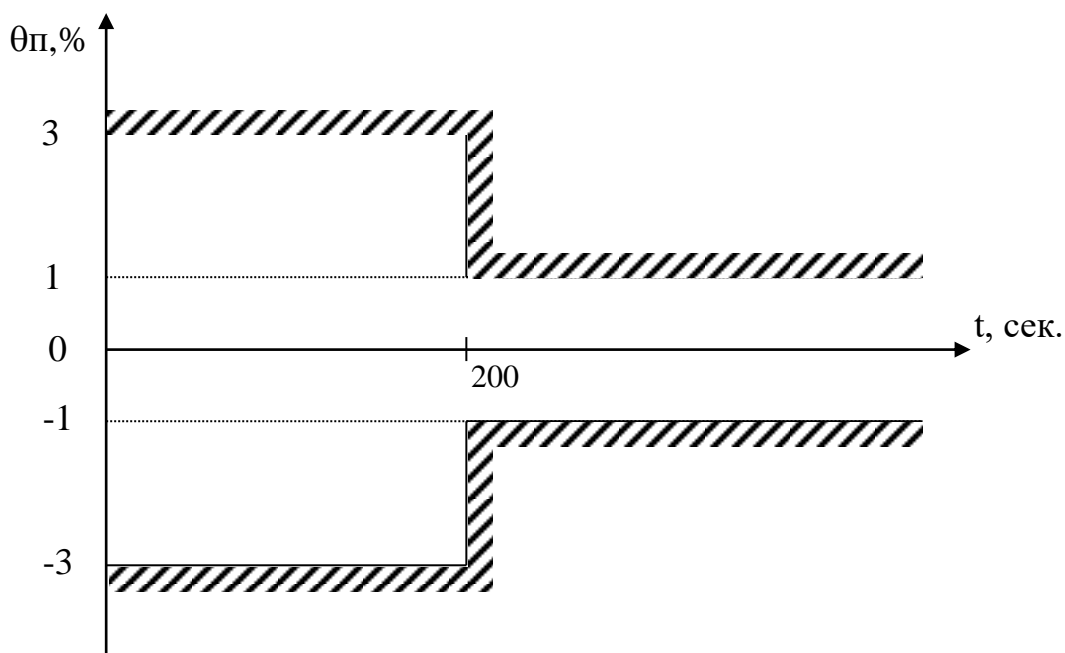


Рис. 3.2 - Регламентні зони для температури повітря після випарника

Як видно з регламентів на САР для процесу дозрівання сири особливо жорсткі вимоги пред'являються до тривалих відхилень, так як саме недотримання цих регламентів може призвести до суттєвого порушення режимів роботи основного технологічного обладнання і, як наслідок суттєвих економічних збитків. При цьому максимальні динамічні відхилення регламентуються не дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний модульний критерій, що штрафує малі (незначні) відхилення. Тому ефективність роботи САР і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J = \int_0^{t_M} [(\Delta\theta(t))^2 + (\Delta\theta_{\text{п}}(t))^2] dt \quad (3.1)$$

де t_M – час моделювання;

$\Delta\theta(t)$, $\Delta\theta_{\text{п}}(t)$ – помилки регулювання температури в камері та температури після випарника.

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

Для системи керування процесу зберігання плодово-овочевої продукції доступною, крім інформації про бажаний стан ОК $\Theta^{ЗДН}$ та $\Theta_{\text{п}}^{ЗДН}$, є інформація про поточний стан ОК (Θ та $\Theta_{\text{п}}$). Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу (U) достатній для реалізації замкнутого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР базової структури. Структурна схема цього принципу управління приведена на рис. 3.3.

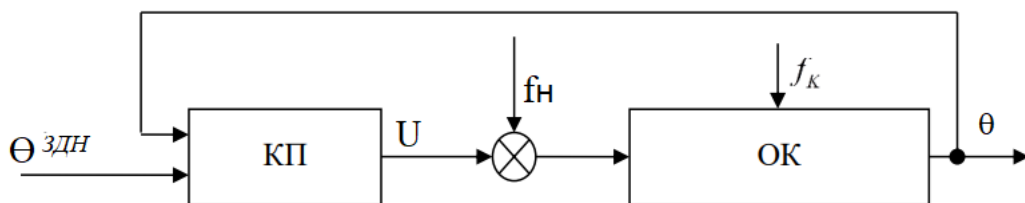


Рис. 3.3 – Структурна схема системи керування, що відповідає замкнутому принципу керування

3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Відповідно до неї та до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування (рис. 3.3), структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.4.

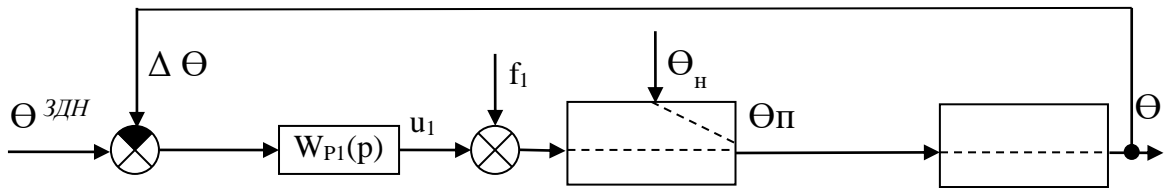


Рис. 3.4 – Структурна схема САР процесу зберігання плодово-овочевої продукції

На рисунку:

U – положення регулюючого органу, який змінює положення золотника, % х.р.о;

Θ – температура в камері;

$\Theta_{п}$ – температура повітря після випарника;

$\Theta_{н}$ – температура навколишнього середовища;

$\Theta^{ЗДН}$ – задане значення температури в камері;

$\Delta \Theta$ – помилка регулювання температури повітря в камері;

f_1 – вектори неконтрольованих збурень;

$W_{PI}(p)$ – передаточна функція регулятора температури повітря в камері ;

Процес зберігання плодово-овочевої продукції 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

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{ІЗ}} \int_0^T \Delta y(t) dt \right) + u_0 \quad (3.2)$$

Передаточна функція ПІ-регулятора

$$W_P(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ІЗ}p} \right) \quad (3.3)$$

Рівняння руху ПІД-регулятора

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{ІЗ}} \int_0^T \Delta y(t) dt + T_{уП} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0 \quad (3.4)$$

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W_P(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ІЗ}p} + T_{уП}p \right) \quad (3.5)$$

Регулятор температуры воздуха в камере.

Передаточная функция модели 1-го порядка ОК:

$$W(s) = \frac{0,1 \cdot e^{-45s}}{50s + 1} \quad (3.6)$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_P = 0,8 \cdot T_O / (K_O \cdot \tau_O) = 0.8 \cdot 50 / (0.1 \cdot 45) = 8.9 \% \text{х.р.о.} / ^\circ\text{C};$$

$$T_B = 2,5 \cdot \tau_O = 2.5 \cdot 45 = 112.5 \text{ с.}$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

$$K_P = 1,0 \cdot T_O / (K_O \cdot \tau_O) = 1,0 \cdot 50 / (0.1 \cdot 45) = 11.1 \% \text{х.р.о.} / ^\circ\text{C};$$

$$T_B = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 45 = 90 \text{ с};$$

$$T_{\text{УП}} = 0,5 \cdot \tau_O = 22.5 \text{ с.}$$

Для оптимального параметричного синтезу САР повітря з ПІД-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.5. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів наведені на рисунку 3.6.

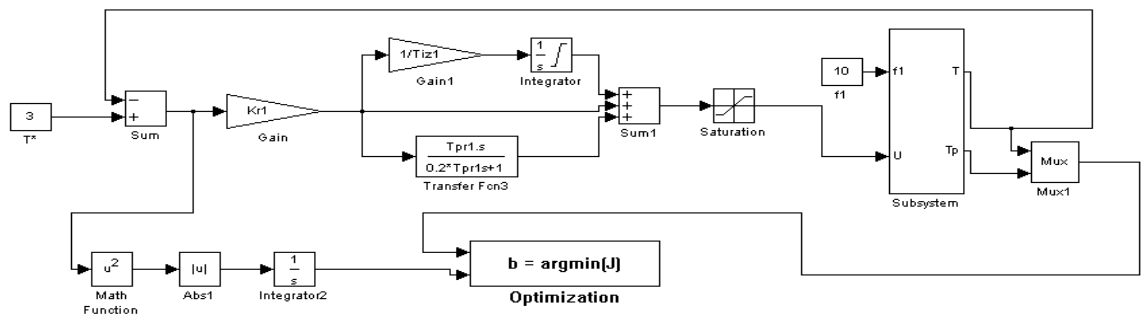


Рис. 3.5 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів

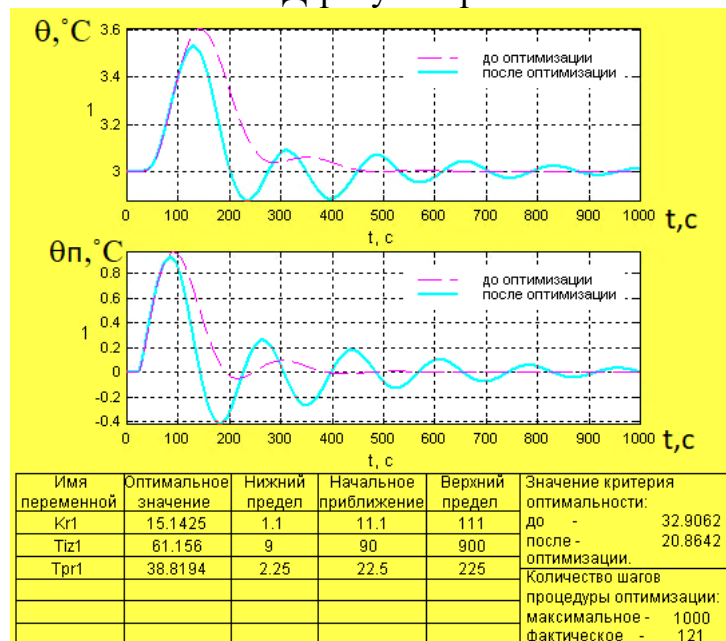


Рис. 3.6 - Результаты оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів

Порівнюємо перехідні процеси в САР з ПД-регуляторами до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати порівняння САР з ПД-регуляторами до і після оптимізації

САР з ПД-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta\theta^{\text{МАКС}}$, °С	$\theta_{\text{ПП1}}$, с	$\Delta\theta_{\text{П}}^{\text{МАКС}}$, °С	$\theta_{\text{ПП2}}$, с	
до оптимізації	0.7	150	1	130	32.9
після оптимізації	0.5	200	0.85	150	20.86

В процесі роботи може змінюватися час запізнення в каналах ОК. Слід відзначити, що внаслідок нелінійності параметри каналів можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на грубість слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень 10%х.р.о. Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПД-регуляторами на грубість наведені вище на рис. 3.7.

Як видно з результатів, САР з ПД-регулятором *є грубою*.

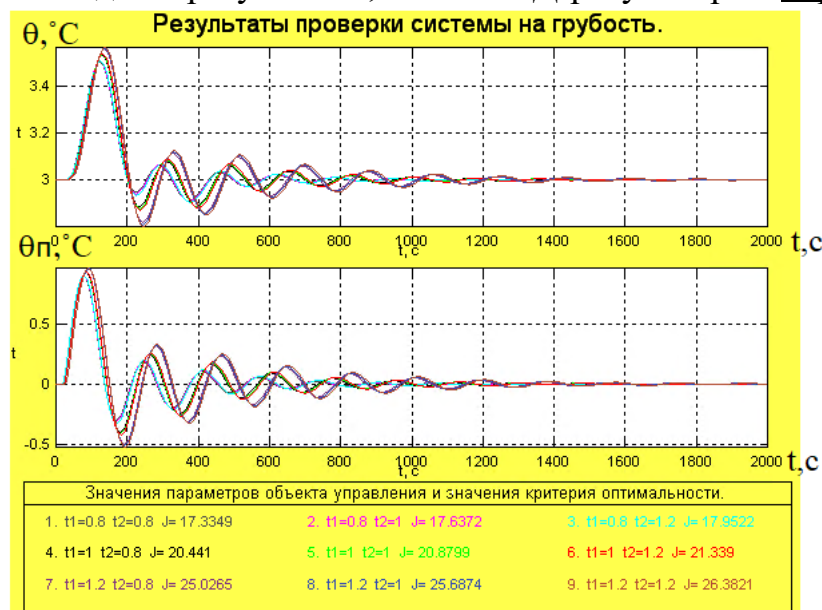


Рис. 3.7 - Аналіз на грубість САР з ПД-регуляторами

Схема моделювання САР базової структури з ПД-регуляторами для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування наведено на рис. 3.8. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.9 і зведено в таблицю 3.2.

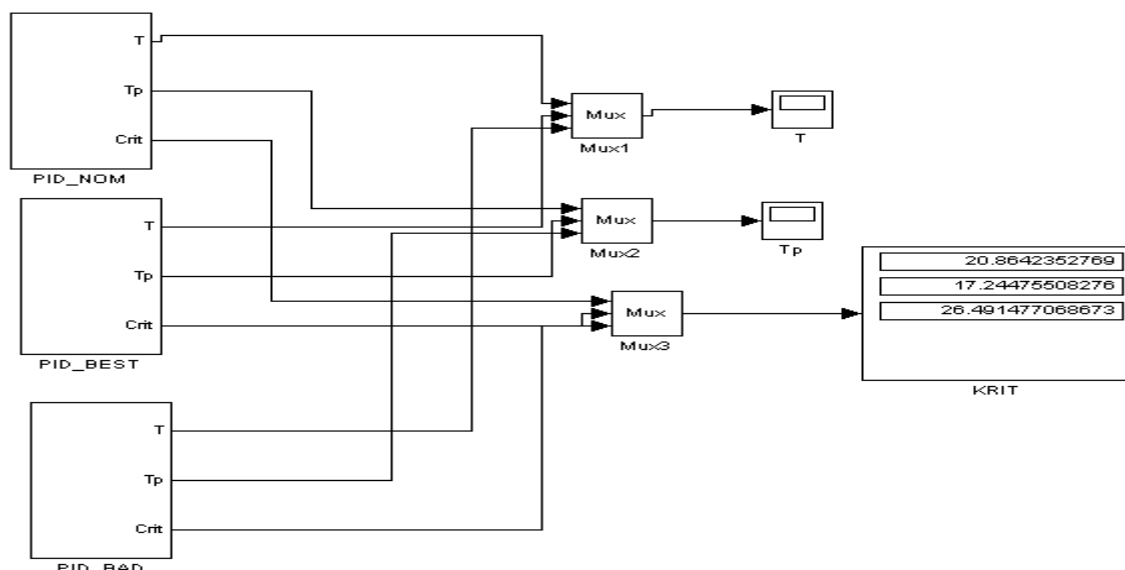


Рис. 3.8 – Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК

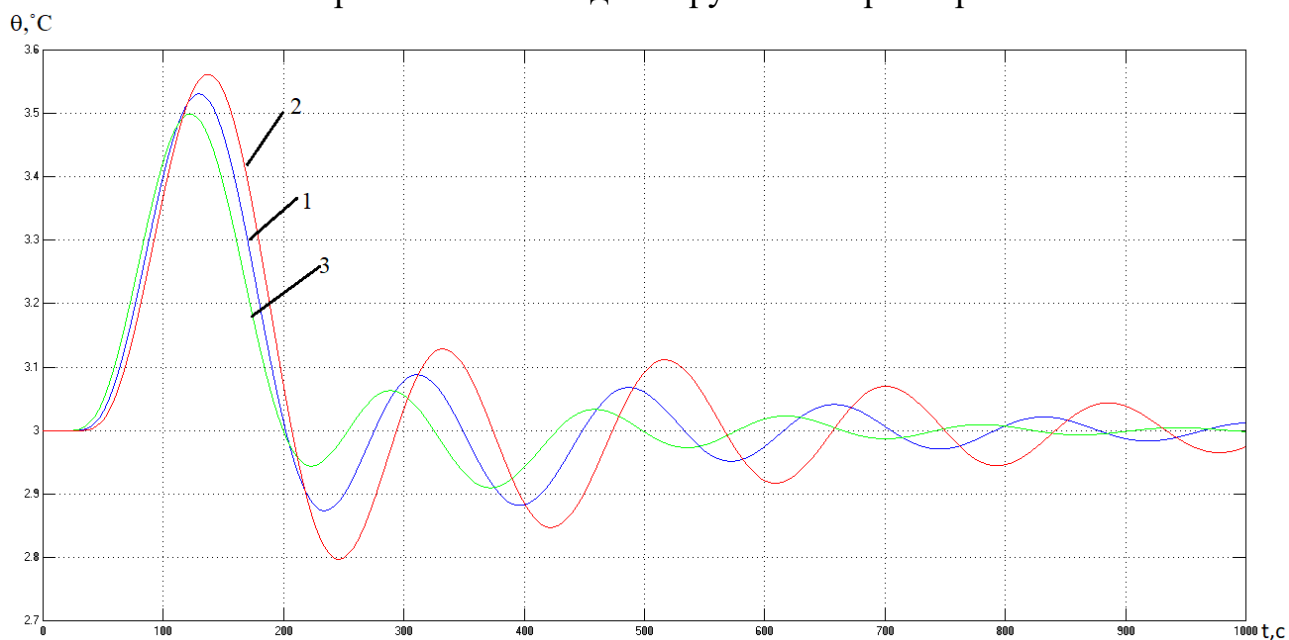
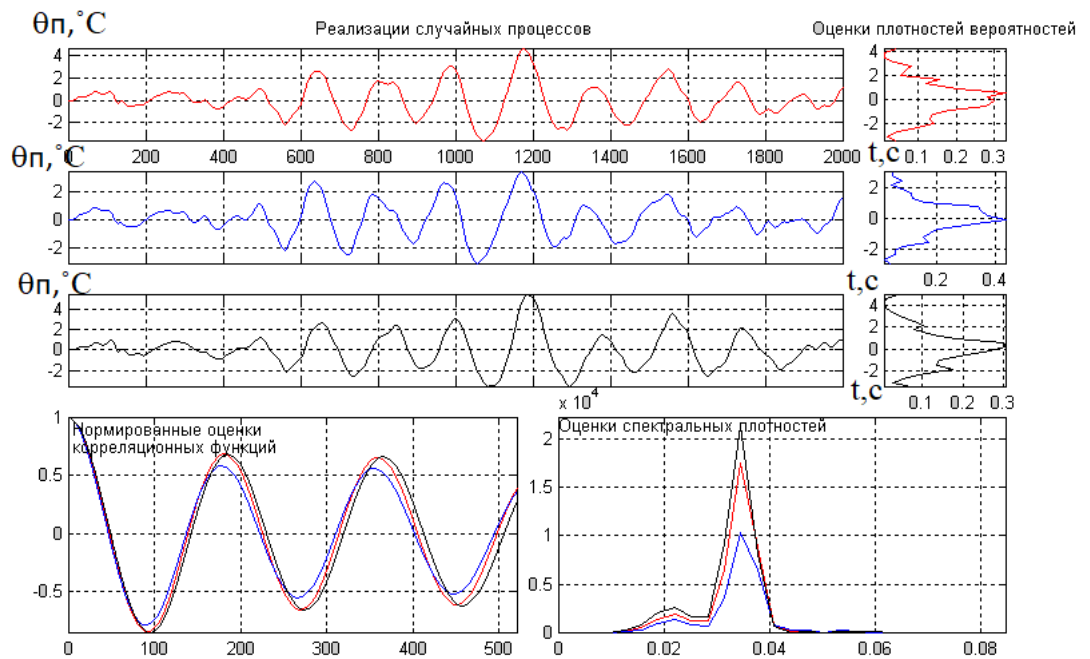


Рис. 3.9 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІД-регуляторами: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.2 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІД-регулятором

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta\theta^{\text{МАКС}}$, °C	$\theta_{\text{ПП1}}$, с	$\Delta\theta_{\text{П}}^{\text{МАКС}}$, °C	$\theta_{\text{ПП2}}$, с	
Номінальні	0.52	180	0.88	130	20.9
"Найсприятливіші"	0.45	175	0.95	125	17.2
"Найнесприятливіші"	0.57	185	0.85	135	26.5



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	0	0	0
Оценка среднеквадратического отклонения	1.5	1.2	1.7
Оценка среднеквадратического периода / частоты	173.9 / 0.036	148.2 / 0.042	173.9 / 0.036

Рис. 3.10 – Результаты моделирования САР з ПІД-регулятором

Таблиця 3.3 – Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
θ			
Математичне очікування	3	3	3
Середньоквадратичне відхилення	0.72	0.56	0.84
Середньоквадратичний період	108.1	88.9	137.9
Частота	0,058	0,071	0,046

θ_p			
Математичне очікування	0	0	0
Середньоквадратичне відхилення	1.5	1.2	1.7
Середньоквадратичний період	173.9	148.2	173.9
Частота	0,036	0,042	0,036
Інтегральний критерій	288	231	329

3.3 Висновки за розділом

САР з ПД-регулятором в перехідних режимах задовольняє гранично допустимим вимогам.

Після проведення процедури оптимізації параметрів ПД-регулятора параметри змінилися: коефіцієнт передачі збільшився на 6%, час ізодрома зменшився на 285%, час передбачення збільшився на 2.6%, інтегральний критерій зменшився на 118%, максимальне динамічне відхилення по каналу температури в камері зменшилося на 13%, час перехідного процесу зменшився на 37%. Параметри каналу температури після випарника змінилися: максимальне динамічне відхилення зменшилось на 15.6%, час перехідного процесу зменшився на 37 %.

Введення в алгоритм регулювання Д-складової призводить до зменшення інтегрального критерію на 48%, зменшення максимального динамічного відхилення по каналу температури в камері на 11% і до збільшення часу перехідного процесу на 5%, зменшення максимального динамічного відхилення по каналу температури після випарника на 31% і до зменшення часу перехідного процесу на 27%.

САР з ПД-регулятором є грубою.

Різниця між "сприятливими" і "несприятливими" поєднаннями параметрів ОУ в САР з ПД-регулятором становить за критерієм 32%. Різниця параметрів каналу температури в камері: по максимальному динамічному відхиленню - 2%, а по часу перехідного процесу - 54%. Різниця параметрів каналу температури повітря після випарника: по максимальному динамічному відхиленню - 17%, а по часу перехідного процесу - 16%.

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

Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом

4.1. Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом зберігання плодово-овочевої продукції.

В якості об'єкта модернізації системи автоматизації зберігання плодовоовочевої продукції. Тривалість зберігання залежить від того, як відрегульовані умови в приміщенні або на складі.

Температурний режим - найбільш ефективний метод впливу на метаболізм зібраного врожаю. Також важливо враховувати вологість і газовий склад середовища. Сучасний підхід зберігання і реалізації овочів і фруктів ґрунтується на постійному охолодженні продукції. Плоди охолоджуються відразу після збору, зберігаються і транспортуються в охолодженому або замороженому вигляді, знаходяться в охолодженому стані в магазині.

Більшість овочів найкраще зберігати при температурах 0-8 ° С. Для стійких до впливу холоду коренеплодів (морква, буряк тощо) температура зберігання становить 0-2 °С, картопля: 2-3 °С, помідори і огірки взагалі не переносять близькі до 0 ° С температури. Їх необхідно зберігати в умовах від 10 °С.

Підвищення цього показника на кожні 10 °С буде зменшувати термін зберігання в 2-3 рази. Апаратурно-технологічна схема процесу зберігання плодово-овочевої продукції наведена на рис.1.

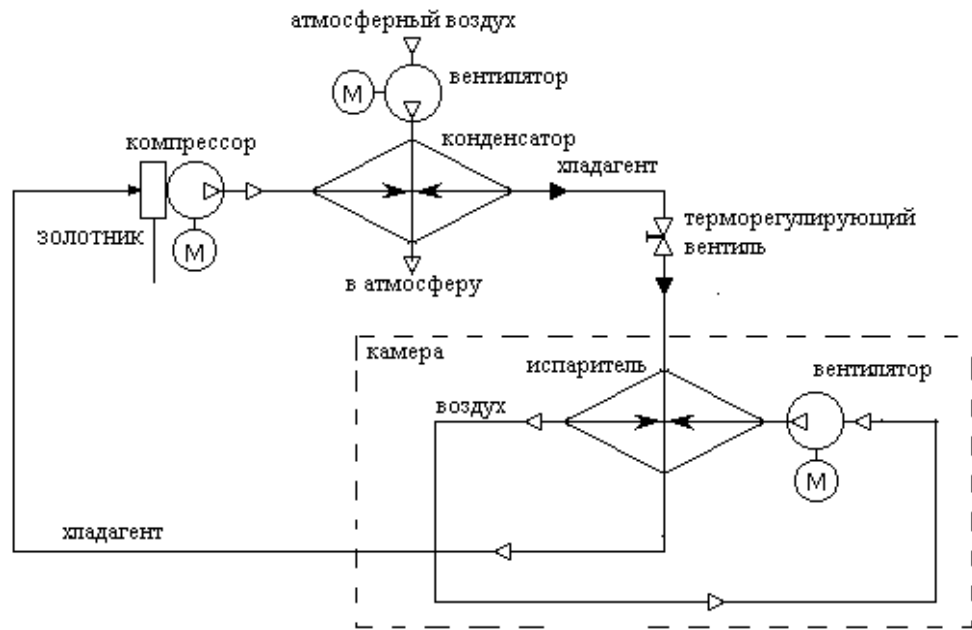


Рис. 4.1 – Апаратурно-технологічна схема процесу зберігання плодовоовочевої продукції

За допомогою компресора М1 холодагент рухається до конденсатору, у якому температура холодагенту знижується завдяки тому що конденсатор обдувається за допомогою вентилятора М3 атмосферним повітрям, яке має температуру нижче ніж холодагент на вході. Після конденсатору холодагент потрапляє до терморегулюючого вентиля де відбувається процес розширення та охолодження холодагенту, далі холодагент потрапляє до випарника у якому починає кипіти та відбирати тепло з повітря в камері зберігання. Випарник обдувається вентилятором М2 для збільшення інтенсивності теплообміну.

4.2. Формалізація регламентів функціонування за пуском, технологічною та аварійної зупинкою технологічного процесу Раніше розглядалися регламенти на роботу процесу зберігання плодовоовочевої продукції, основні з них наведені в табл.4.1

N п/ п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номинальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довгострокові		Короткочасні
					Величина	Величина	
1	Температура повітря в складі	θ	°C	3	±2	±5	360с
2	Температура повітря на виході випарника холодильної машини	$\theta_{п}$	°C	0	±1	±3	200с

Таблиця 4.1- Основні нормативи ведення технологічного процесу

Як вихідні дані розглянемо такі характеристики обладнання (рис.1): Електродвигун компресора М1 - керується дискретним сигналом, за допомогою компресора відбувається циркуляція холодагенту в системі, електродвигун вентилятора М2- керується дискретним сигналом, вентилятор обдуває випарювач для інтенсивного теплообміну, електродвигун вентилятора М3- керується дискретним сигналом, вентилятор обдуває конденсатор повітрям з атмосфери для охолодження хладагенту, привід золотика- аналогової дії, золотника впливає на продуктивність компресора що впливає на температуру в камері. Також використаємо дані попередніх досліджень з ідентифікації ОК та САР.

Таблиця 2 – Передатні функції прямих каналів об'єкта регулювання та параметри налаштування ПІ – регулятора

№	Канал	Модель 2-го порядку	Параметри ПІ – регулятора	
			Кр	Тн
1	«u – θ _n »	$W_o(p) = \frac{0,12 * e^{-20p}}{(18,75p + 1)^2}$	7,36	118,75
2	«u – θ»	$W_o(p) = \frac{0,1 * e^{-32,5p}}{(28,125p + 1)^2}$	7,36	118,75

Для перевірки умов необхідних для пуску необхідно перевірити, чи закриті двері до камери.

Для забезпечення передпускової звукової сигналізації необхідно увімкнути її витримати час та вимкнути.

Для забезпечення обдуву випарювача повітрям необхідно увімкнути вентилятор М2 , після того як двигун М2 буде увімкнений необхідно увімкнути вентилятор М3 та компресор М1, потім необхідно увімкнути контур температури повітря в камері .

На основі наведеного вище опису роботи процесу формалізуємо у вигляді блок-схеми регламент функціонування установки у режимах пуску та технологічної зупинки, та складемо відповідні алгоритми керування. Блок-схема регламенту на пуск процесу зберігання плодово-овочевої продукції рис 2.

Для зупинки процесу зберігання плодово-овочевої продукції необхідно вимкнути компресор М1, після цього вимкнути контур регулювання температури в камері, витримати час, після цього вимкнути вентилятор М3, витримати час та вимкнути вентилятор М3. Блок-схема регламенту на зупинку процесу зберігання плодово-овочевої продукції вказано рис 4. Для аварійної зупинки процесу зберігання плодово-овочевої продукції необхідно вимкнути контур регулювання температури в камері, вимкнути компресор М1 та вентилятори М2, М3, встановити

золотник у нульове положення. Блок-схема регламенту на аварійну зупинку процесу зберігання плодово-овочевої продукції вказано рис 3

4.3. Розробка алгоритмів автоматичного логічного керування за пуском, зупинкою та аварійною зупинкою (циклом роботи) технологічного агрегату

На рис. 5, 6 наведено блок-схеми алгоритмів керування пуском та зупинкою процесом зберігання плодово-овочевої продукції, що розроблені згідно до регламентів функціонування, та деталізують послідовність видачі керуючих дій.

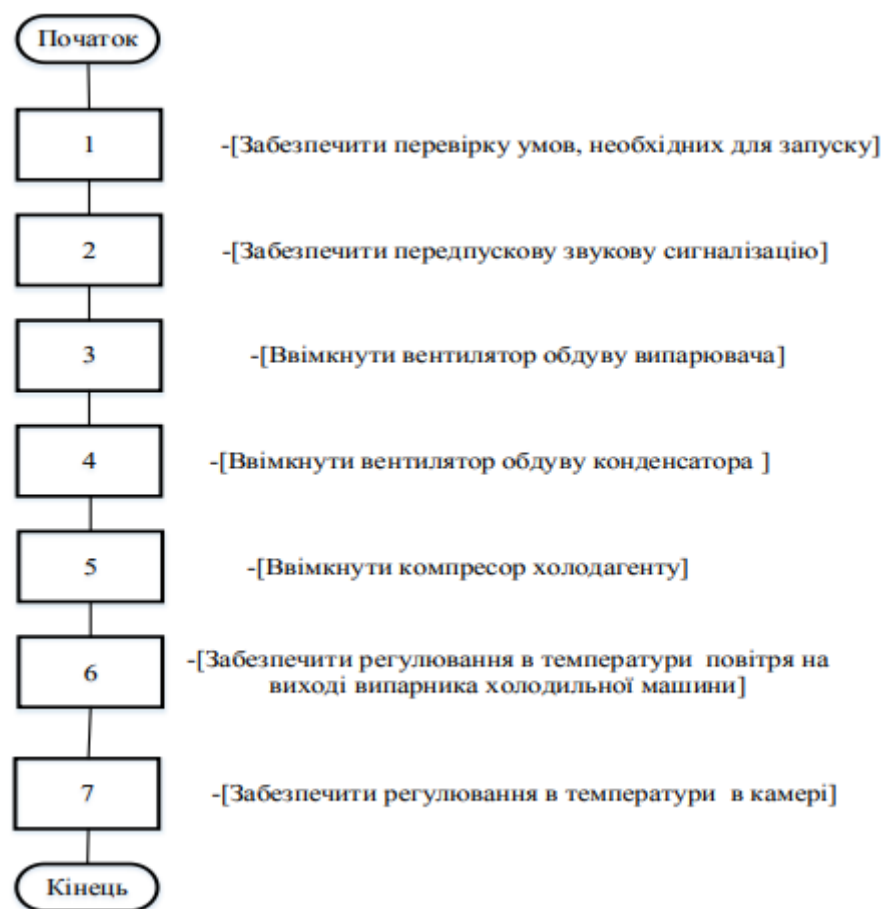


Рис. 4.2 – Блок-схема регламента на пуск

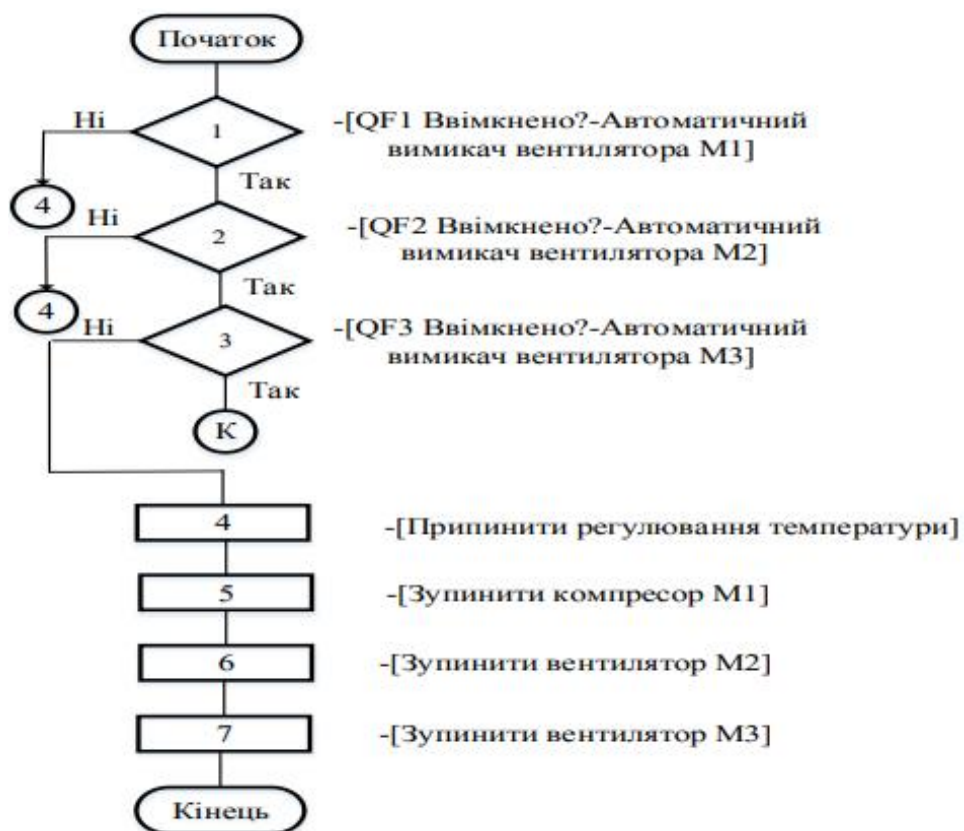


Рис. 4.3 – Блок-схема регламента на аварійну зупинку

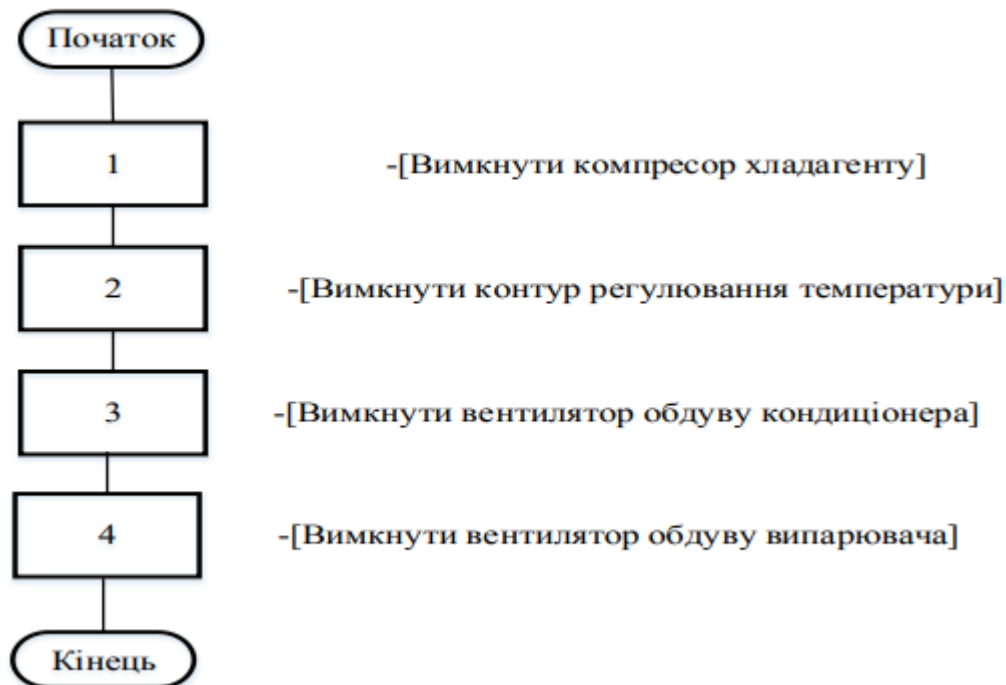


Рис. 4.4 – Блок-схема регламента на зупинку

Для перевірки умов необхідних для пуску необхідно перевірити закриті двері до камери.

Для забезпечення передпускової звукової сигналізації необхідно увімкнути її витримати час та вимкнути. Після цього запустити двигун вентилятора М2, далі запустити двигун вентилятора М3, потім запустити компресор М1. Потім потрібно відкрити золотник на 60%, після цього вивести установку на режим по температурі, після цього вмикається КР температури.

Блок-схема алгоритму керування за штатним пуском процесу наведена на рис.5. Для зупинки процесу зберігання плодово-овочевої продукції необхідно вимкнути контур регулювання температури, після цього необхідно вимкнути компресор М1, потім витримати час 10 секунд, після цього необхідно вимкнути вентилятор М3, потім витримати час 30 секунд, після цього необхідно вимкнути вентилятор М2.

Блок-схема алгоритму керування за штатним зупинкою наведена на рис.6. У разі коли установка працює у нормальному режимі та при цьому стає відсутній один з сигналів – наприклад, сигнал від автоматичного вимикача одного з двигунів.

Аварійна зупинка здійснюється наступним чином - вимикаємо контур керування температури, вимикаємо компресор М1, вимикаємо вентилятор М2, вимикаємо вентилятор М3. Алгоритм зупинки вказаний у блоксхемі рисунку 7.

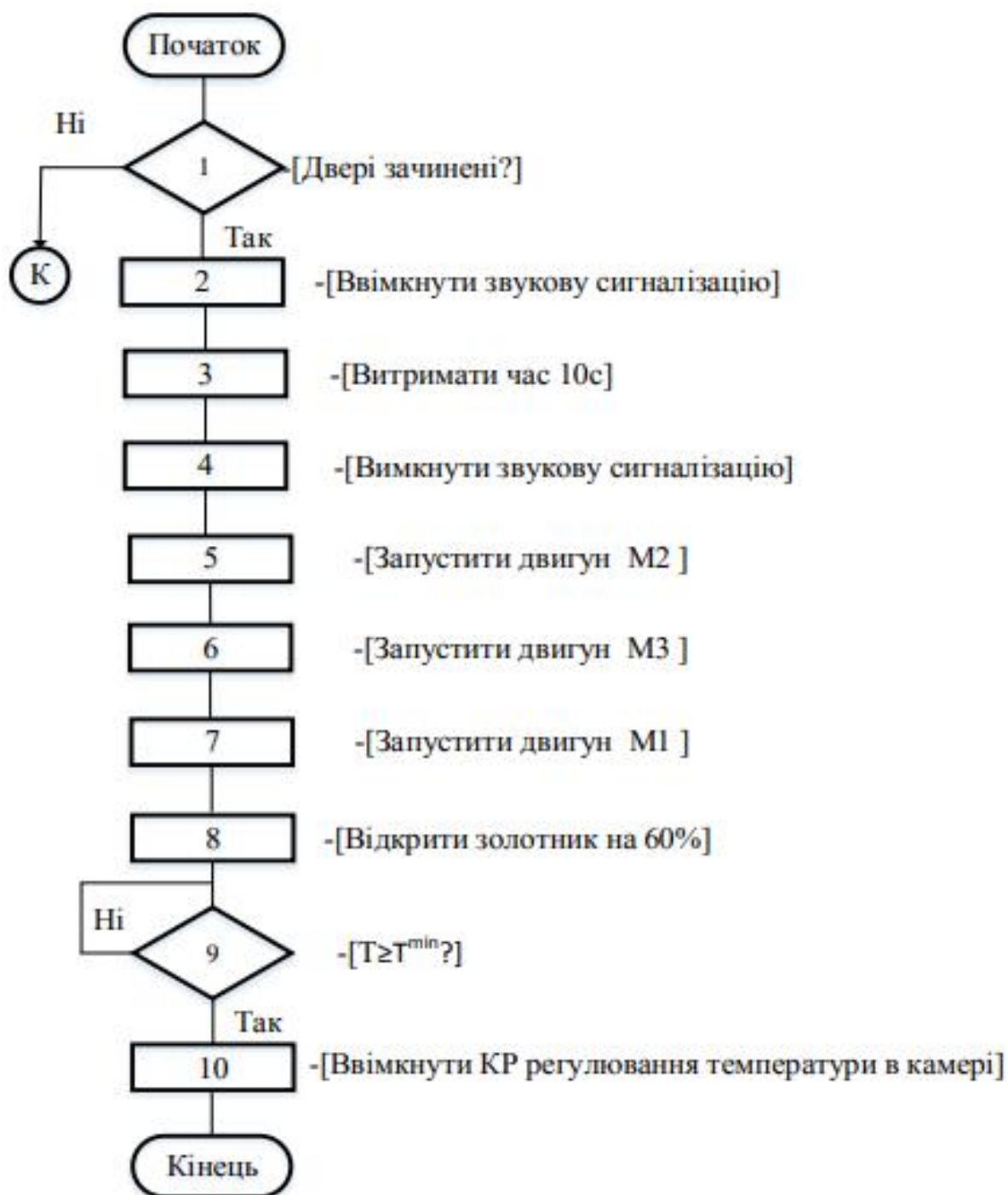


Рис.4.5 –Блок-схема алгоритма автоматичного управління пуском

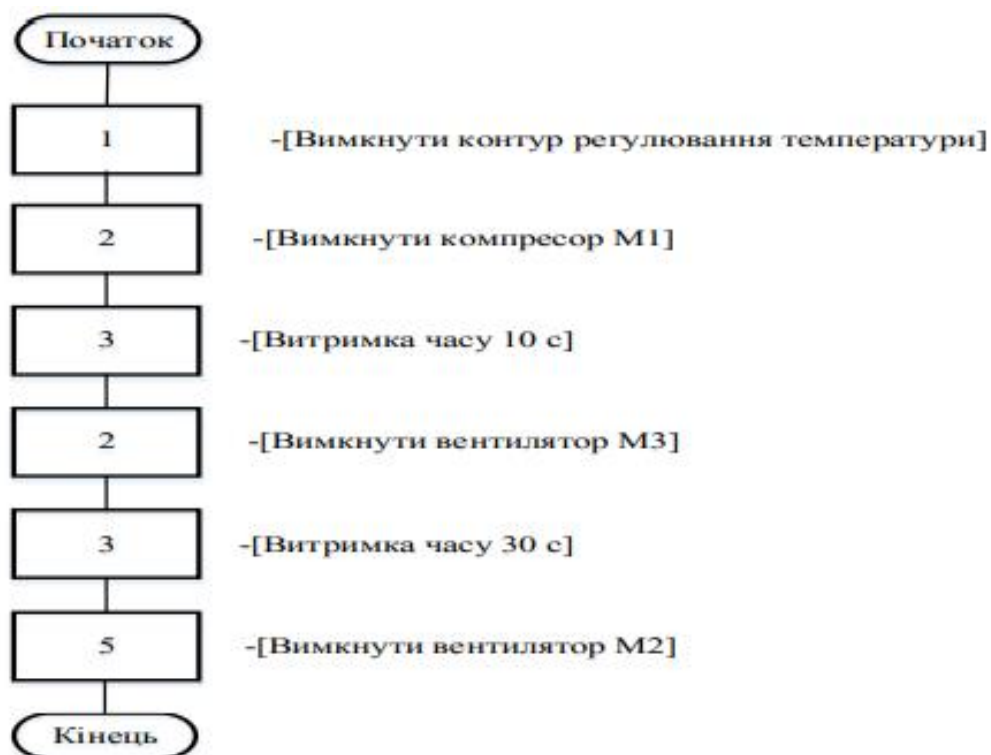


Рис.4.6 - Блок - схема автоматичного управління зупинкою

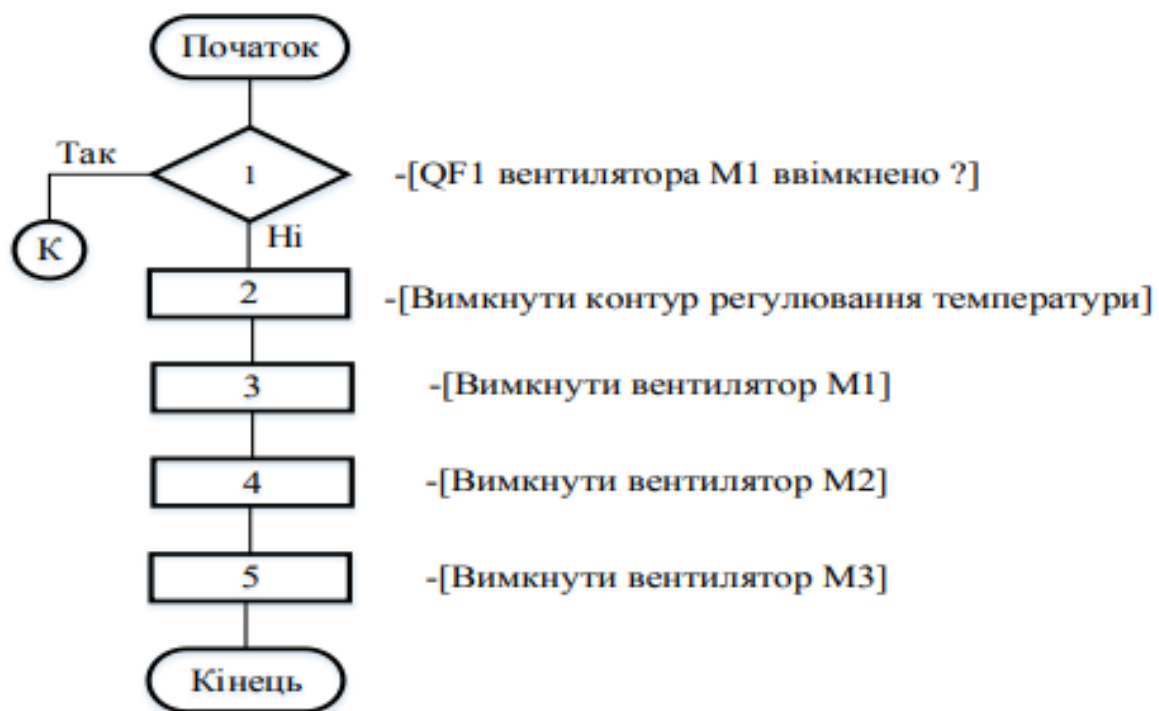


Рис.4.7 -Блок - схема автоматичного управління аварійною зупинкою

4.4. Розробка функціонально логічної схеми (ФЛС) керування процесом кондиціонування

Для розробки цієї схеми необхідні алгоритм автоматичного управління пуском апарату і його зупиною.

Формування умов необхідних для запуску здійснюється елементом 9 по сигналам від датчика положення дверей 1 та кнопки пуск 2, які поступають в схему через ДЦП 5-6 Підхоплення сигналу пуск виконує RS-тригер 10. Після появи логічної 1 на виході RS вмикається передпускова сигналізація звукова (ППЗС). Витримку часу забезпечує таймер 11. Формує сигнал ППЗС елемент 12 через ЦДП 13. По завершенні ППЗС від таймера 11 починає свою роботу установка. Вмикається RS – тригер 15 котрий формує та подає сигнал запускає двигун вентилятора обдуву конденсатора М2. Після появи логічної 1 на виході RS тригера 15 сигнал потрапляє на тригер 22 котрий формує та подає сигнал запускає двигун обдуву конденсатора М3. Після появи логічної 1 на виході RS тригера 22 сигнал потрапляє на тригер 24 котрий формує та подає сигнал запускає двигун компресора М1. Після появи логічної 1 на виході RS тригера 24 сигнал потрапляє на тригер 26 який встановлює золотник у положення 60% ходу. При досягненні заданої температури нуль орган 33 подає сигнал перемикання елемент 31 після чого вмикається контур регулювання температури.

Сигнал з елемента 3 потрапляє на ДЦП 7. Сигнал йде на ресет тригера 26 та 24 тим самим вимикає КР регулювання температури а також двигун компресора холодагенту. Також сигнал потрапляє на таймер 20, і через 10 секунд потрапляє на ресет тригера 2 тим самим вимикає вентилятор М3 , також сигнал потрапляє на таймер 17, через 30 секунд сигнал потрапляє на ресет тригера 15, тим самим вимикає вентилятор М2.

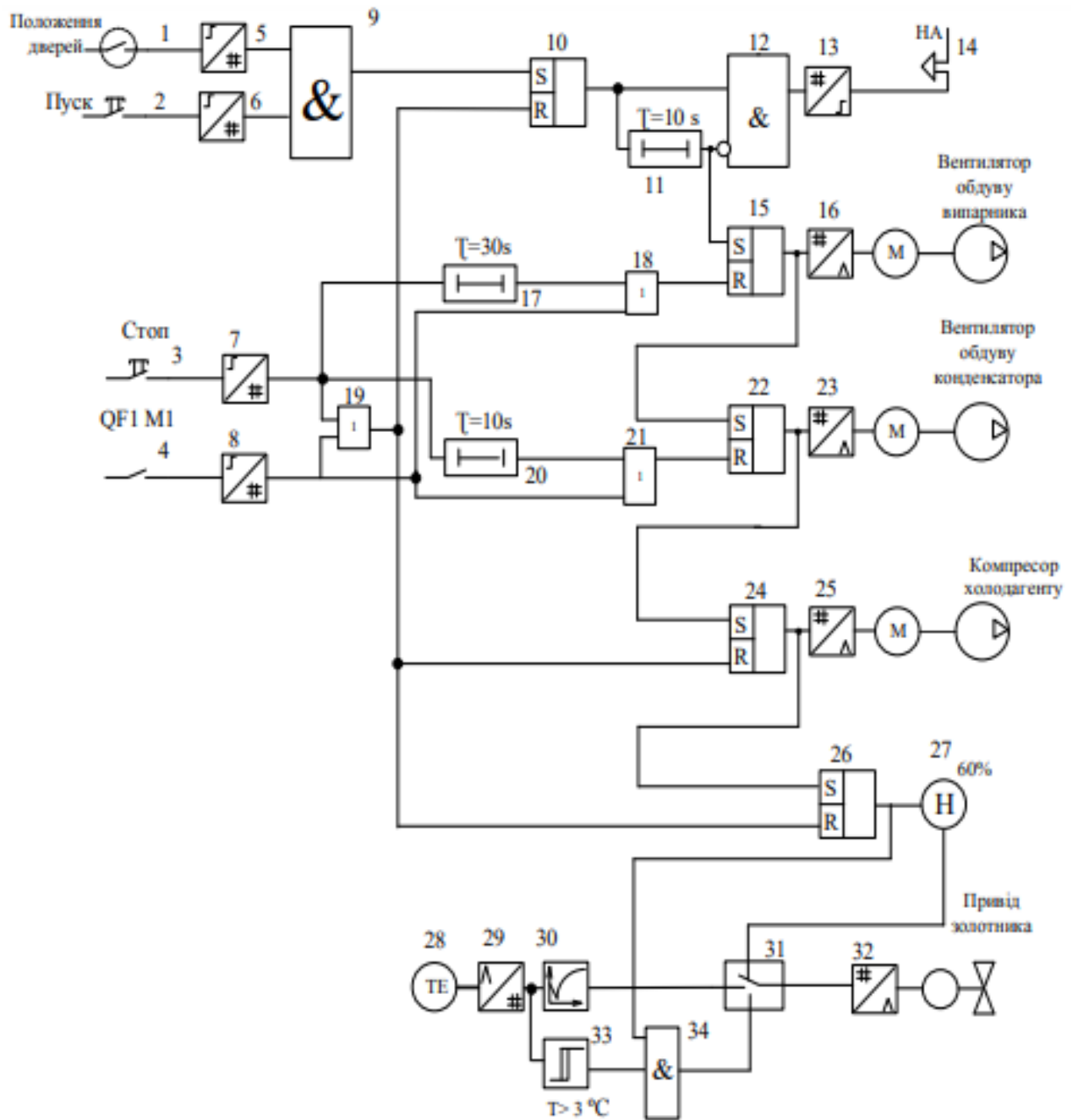


Рис. 4.8- Функціонально-логічна схема управління процесом

4.5. Моделювання роботи алгоритму керування в середовищі MatLab

Моделювання роботи САК здійснюється в середовищі MATLAB, використані характеристики ОК та параметри налаштування регуляторів повинні бути ідентичними здобутим у попередніх КП (курс «ТАК»). На рис. 9 наведена схема моделювання роботи САК, реалізована в MATLAB.

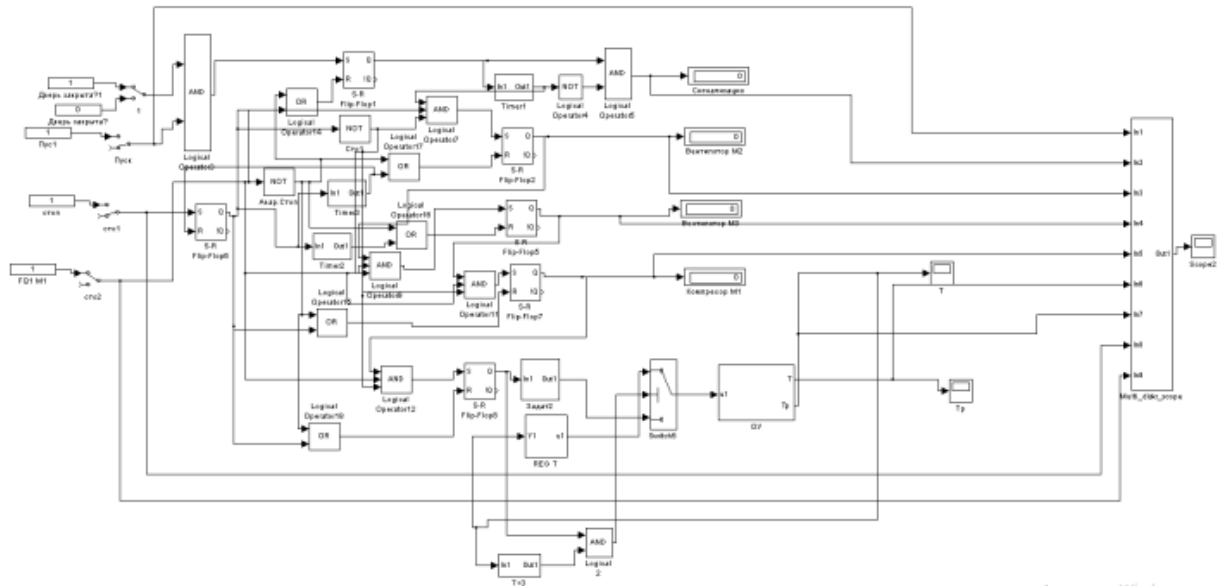


Рис. 4.9 – Схема моделювання роботи алгоритму запуску, технологічної та аварійної зупинки процесу зберігання плодово-овочевої продукції, яка реалізована в MATLAB

Дана схема відображає роботу технологічного апарату реалізовану серед MatLab. Блоком «Двері зачинені» моделюємо сигнал від датчика положення дверей. При натисканні на кнопку пуск логічний елемент «І» формує на виході сигнал «1», яка вмикає тригер 1, сигнал з тригера подається на таймер1 який вмикає ЗС. Далі сигнал з таймера приходять на тригер 2 який вмикає двигун вентилятора М2. Далі сигнал з тригера 2 приходять на тригер 5 який вмикає двигун вентилятора М3. Далі сигнал з тригера 5 приходять тригер 7 який вмикає двигун компресора М1. Сигнал з тригера 7 потрапляє на тригер 8, тригер 8 відкриває золотник на 60%. Після того як температура досягла заданої, датчик перемикається в положення 2 і вмикає КР температури. Після цього сигнал від включення КР температури. При натисканні кнопки «Стоп» сигнал надходить на тригер 6, вмикає тригер. Сигнал з тригера 6 надходить на

ресет тригера 7,8, тим самим скидаючи його і вимикається КР регулювання температури та компресора М1. Сигнал з тригера 6 надходить таймер 2, після затримки часу сигнал з таймера потрапляє на ресет тригера 5 тим самим вимикає Вентилятор М3. Далі сигнал потрапляє на таймер 3, після затримки часу сигнал с таймера потрапляє на ресет тригера 2 тим самим скидаючи його і вимикає Вентилятор М2.

4.6. Результати моделювання роботи САК

На рис. 4.11 наведені часові графіки змінних (Діаграма роботи системи керування), що відображають реальну послідовність керування пристроями процесу зберігання плодово-овочевої продукції (вентилятора, компресора регулюючих клапанів)

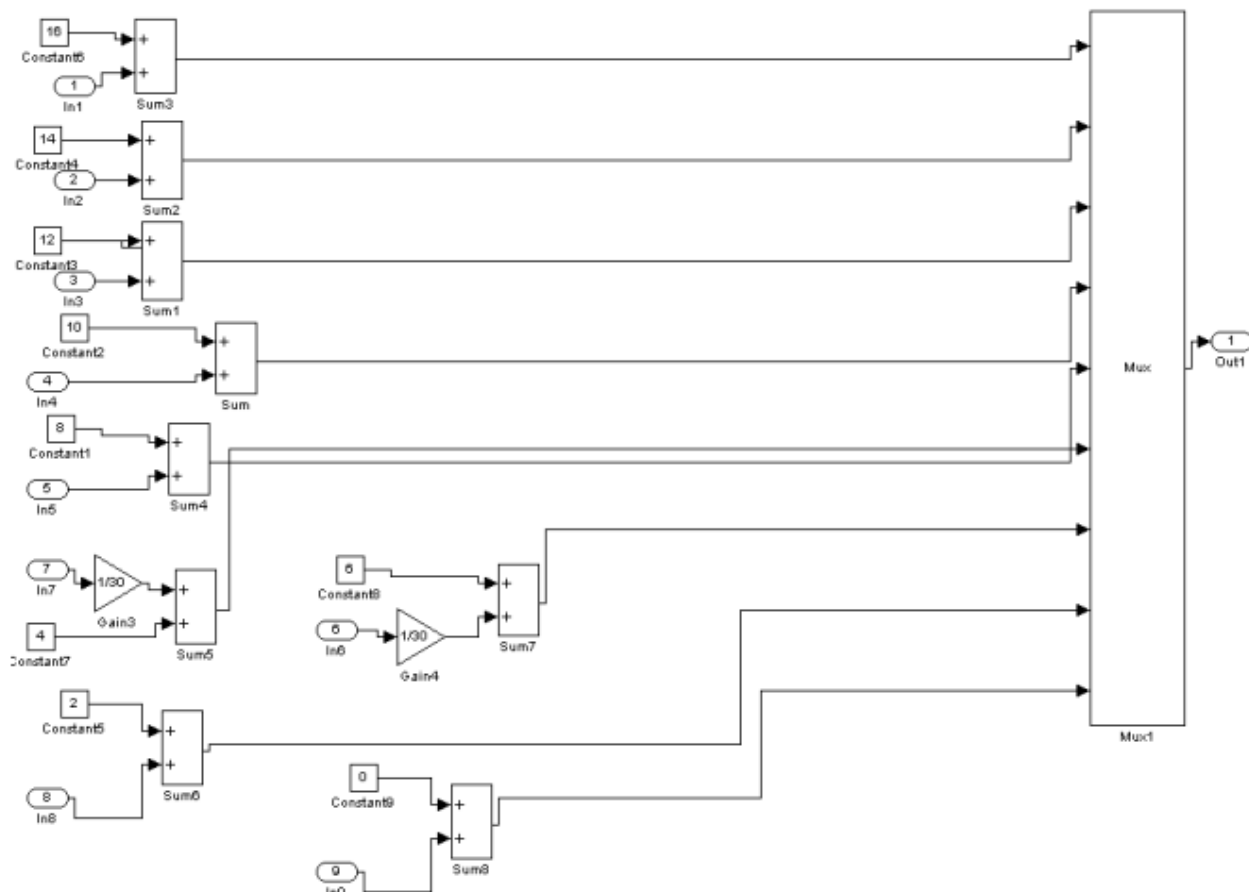


Рис 4.10 – Схема моделювання роботи блоку MUX_dr_score 1, що реалізована в MATLAB

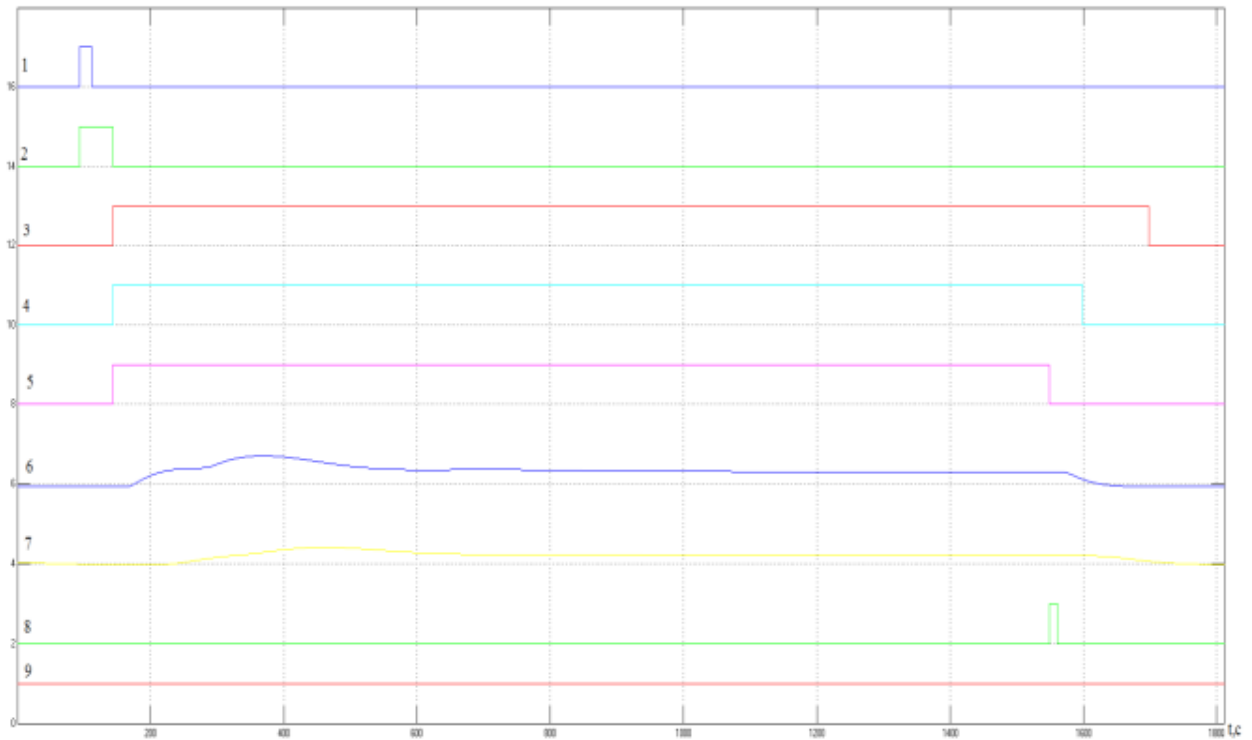


Рис. 4.11 – Діаграма роботи функціонально - логічної схеми процесу кондиціонування, розробленої в програмі Matlab.

- 1 - Сигнал натискання кнопки «Пуск»
- 2 - Сигнал спрацьовування ППЗС
- 3 - Сигнал спрацьовування вентилятора М2
- 4 - Сигнал спрацьовування вентилятора М3
- 5 - Сигнал спрацьовування компресора М1
- 6 - Сигнал зміни температури θ_p
- 7 - Сигнал зміни температури θ
- 8 - Сигнал натискання кнопки «Стоп»
- 9 – Сигнал від автоматичного вимикача двигуна М1

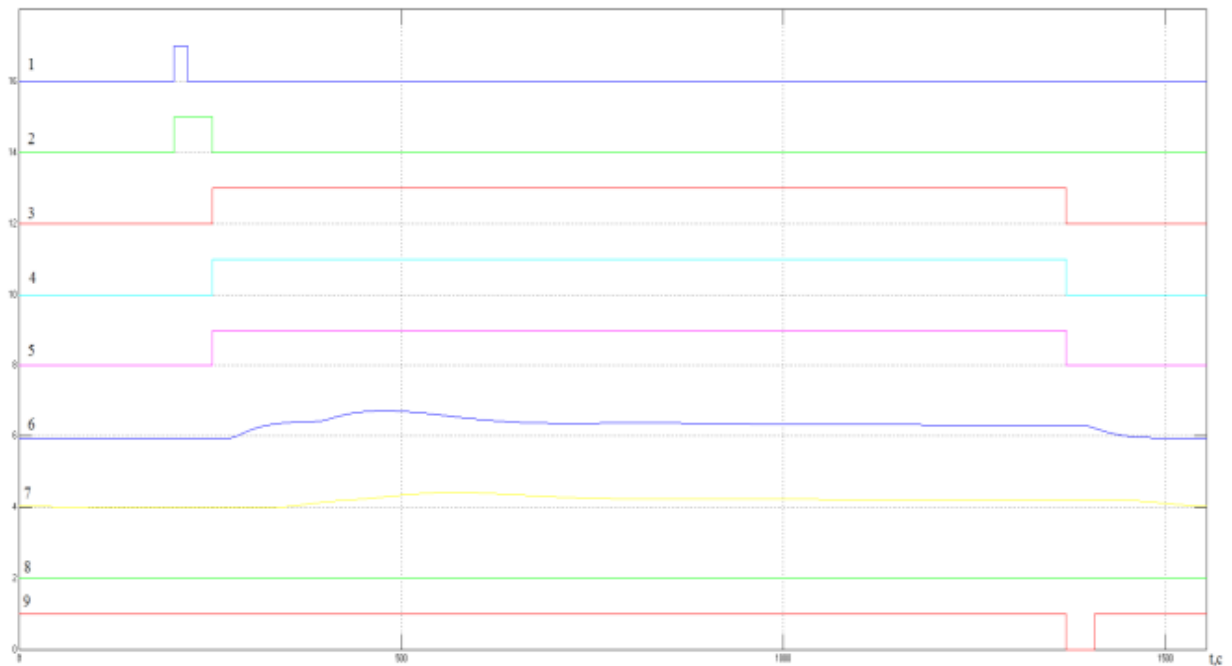


Рис. 4.12– Діаграма роботи системи керування в аварійному режимі

- 1 - Сигнал натискання кнопки «Пуск»
- 2 - Сигнал спрацьовування ППЗС
- 3 - Сигнал спрацьовування вентилятора М2
- 4 - Сигнал спрацьовування вентилятора М3
- 5 - Сигнал спрацьовування компресора М1
- 6 - Сигнал зміни температури θ_p
- 7 - Сигнал зміни температури θ
- 8 - Сигнал натискання кнопки «Стоп»
- 9 – Сигнал від автоматичного вимикача двигуна М1

4.7. Висновки

В результаті для даного технологічного процесу були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки процесу зберігання плодово-овочевої продукції в штатному та аварійному режимах, розроблена функціональна логічна схема, побудована її реалізація на ПК за допомогою середовища MATLAB.

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

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

Щоб правильно організувати зберігання овочів, необхідно створювати такі умови, за яких би сповільнювалися біохімічні та фізичні процеси, що відбуваються в них.

Оптимальні умови можна створити протягом усього періоду зберігання на холодильниках, а в сховищах без штучного охолодження - в холодну пору року (взимку), а також пізньої осені та ранньої весни у прохолодні дні та ночі.

Оптимальні умови зберігання овочів наведено у табл 5.1.

Найменування продукту	Температура зберігання,	З Відносна вологість повітря, %	Терміни зберігання, міс.
Картопля	2-4	90-95	До года
Капуста білокочанна	0 ... -0,8	90-95	6-8
кольорова	0 ... -0,5	85-95	1-2
брюссельська Морква	0-2 1 ... -1	85-95 90-95	1 6-10
Буряк	0-1	90-95	6-10
Редиска	0	- 90-95	3 недели
Редька	0	90-95	3-4
Огірки	8-10	85-95	До 10 дней
Томати зрілі	0,5-1	85-90	2-4 недели
Цибуля ріпчаста	-2 ... -3	70-80	6-10
Часник	-1 ... -3	70-80	4-7
Шпинат, салат, щавель	0-0,5	90-95	5-10 дней

Таблиця 5.1. Оптимальні умови зберігання овочів

Плоди, призначені для тривалого зберігання, розміщують у сховищі по районах проростання, за видами та сортами, за ступенем зрілості. Найбільш лежкі плоди 1-го сорту ставлять далі, а менш лежкі – ближче до головного проходу, щоб їх можна було відпускати насамперед.

Найменування плодів	Температура зберігання,	З Відносна вологість повітря, %	Терміни зберігання, міс.
Яблука зимові	-2-0	85-90	4-7
Груші зимові	-2-0	80-90	4-5
Сливи	0-1	85-90	0,5-2
Вишні	-0,5	90-95	0,5-1
Черешні	-0,5	90-95	10 днів
Абрикоси	-0,5	85-90	1

Таблиця 5.2. Оптимальні умови зберігання плодів

№ п/п	Найменування параметра	Номінальне значення	Допуск відхилення	Функції ЗВТ за рівнями управління			
				місцевий	Щит КВПіА	МПК	ПК
1	Температура повітря з атмосфери, °С	+20°С	±2	Е І У	І У А	У	І R А У
2	Температура повітря в атмосферу, °С	+28°С	±2	Е І У	І У А	У	І R А У
3	Температура в камері, °С	+3°С	±2	Е І У	І У А С	У	І R А У
4	Температура хладагенту до випарника	-40°С	±2	Е І У	І У А	У	І R А У
5	Температура хладагенту після випарника	-18°С	±2	Е І У	І У А	У	І R А У
6	Включення компресору				SA	SY	A
7	Включення вентилятору				SA	SY	A

Таблиця 5.3. -Таблиця регламентів

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

Усі аналогові сигнали від датчиків температури уніфіковані постійного струму із діапазоном 4...20 мА.

При номінальному значенні температури в камері, рівному +3°C, із ряду найближчих стандартних діапазонів вимірювання: -50...50 °C, 0...100 °C, 0...150 °C і 0...300°C вибираємо необхідну в даному випадку шкалу: -50...50 °C.

Так як температура повітря навколишнього середовища коливається протягом року, від -20°C до +40°C, із ряду найближчих стандартних діапазонів вимірювання: -50...50 °C, 0...100 °C, 0...150 °C і 0...300°C вибираємо необхідну в даному випадку шкалу для датчиків температури повітря з атмосфери та температури повітря в атмосфері: -50...50 °C.

При номінальному значенні температури кипіння хладагенту, рівному -40.8°C, із ряду найближчих стандартних діапазонів вимірювання: -50...50 °C, 0...100 °C, 0...150 °C і 0...300°C вибираємо необхідну в даному випадку шкалу для датчиків кипіння хладагенту у випарнику та температури хладагенту після випарника: -50...50 °C.

Температуру в камері регулюють у межах ± 2 , то абсолютна похибка вимірювання Δ не повинна перевищувати значення $2 : 3 = 0.66$ 0C. Отже, прийнявши стандартний клас точності ЗВТ, рівний 0.5, при обраній шкалі : -50...50 °C отримаємо значення $\Delta = 0.5$ 0C, що відповідає поставленим вимогам.

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

На додатку рис. А1.1 наведена схема інформаційно-вимірювальної системи заданого ТП. Для її реалізації будемо вибирати ЗВТ із числа вивчених нами в даному навчальному курсі. Опис схеми почнемо з ліворуч на праворуч. З початку в Internet оберемо лампу НЛ типу ТЛЖ-0.2-0.3 яка буде сигналізувати положення дверей в 15 камері. Живлення на лампу буде подаватися за допомогою замкнення контактів кінцевого вимикача типу ХСКН2118Р20.

Для вимірювання температури повітря з атмосфери, повітря до атмосфери, температури хладагенту після випарнику (поз. 2а,3а,4а) будемо використовувати термометри опору з уніфікованим токовим виходом типу ТСМ-У-1-4-100М-0.5%-2-180-6-Д які за допомогою струмової петлі будуть підключатися до приладів типу ІТМ-110(поз.2б,3б,4б) .

Для вимірювання температури повітря в камері (поз. 5а) будемо використовувати термометр опору з уніфікованим токовим виходом типу ТСМ-У-1-4-100М-0.5%-2-180-6-Д який за допомогою струмової петлі будуть підключатися до приладу типу БРУ-7(поз.5б) .

Для керування температурою в камері будемо використовувати аналоговий вихід з приладу БРУ-7 який буде потрапляти на привід з лінійним переміщенням Velimo NV230АТРС(поз. 6в). та в залежності від величини аналогового сигналу буде змінюватися положення приводу який підключений до золотника, в залежності від положення золотника змінюється продуктивність компресора що впливає на температуру в камері.

Для вимірювання температури хладагенту у випарнику (поз. 6а) будемо використовувати термометр опору з уніфікованим токовим виходом типу ТСМ-У-1-4-100М-0.5%-2-180-6-Д який за допомогою струмової петлі будуть підключатися до приладу типу БРУ-7(поз.6б) .

Для керування температурою в камері будемо використовувати аналоговий вихід з приладу БРУ-7 який буде потрапляти на привід з лінійним переміщенням Velimo NV230АТРС(поз. 6в). та в залежності від величини аналогового сигналу буде змінюватися положення терморегулюючого вентиляю, положення вентиляю впливає на перепад тиску, величина перепаду тиску впливає на температуру кипіння. Оберемо ключ вибору режиму для керування компресором та вентиляторами HS(поз. 7SA,8SA,9SA) типу ПКП-10 на три положення «Авт.– 0–Дист.», оскільки в положенні «0» електричні кола розмикаються і персонал ІБ може здійснювати, наприклад, ремонт засобів автоматизації. Позначимо його позицію SA.

Для пуску компресора та вентиляторів в дистанційному режимі передбачимо кнопки НА «Пуск-Стоп» типу PPBVB-30N з неоновим підсвічуванням (світловою сигналізацією нормальної роботи обладнання). Позначимо їх позицією SB. Керувати пуском компресора та вентиляторів в автоматичному режимі за допомогою магнітного пускача NS буде, наприклад, МПК. Тоді сигнал управління з МПК (вихід 1DO) крізь ключ NS поступить на обмотку магнітного пускача NS.

В результаті пускач спрацює і запустить електродвигун М компресора та вентиляторів. Одночасно за допомогою одного з контактів пускача подасть через МПК (вхід 1DI) в ПК сигнал про здійснення запуску електродвигунів. При цьому оператор АРМ буде спостерігати процес вмикання/вимикання компресора та вентилятора за допомогою візуальної сигналізації на моніторі ПК.

Для підвищення надійності системи передбачимо відповідне дублювання інформації - незалежне вимірювання найважливіших параметрів - температури в камері, та температури кипіння холодагенту двома не пов'язаними між собою комплектами ЗВТ: на щиті і в ПК-

Для зручності індикації і регулювання в камері та температури кипіння холодагенту передбачимо показуючий і сигналізуючий блок ручного керування типу БРУ-7 (поз. 5б,6б), який отримує уніфікований сигнал 4...20 мА від термометра опору типу ТСМ-У-1-4-100М-0.5%-2-180-6- Д (поз. 5а,6б) і передає його на аналоговий вхід МПК для передачі в ПК. Тут ПК реалізує регулювання температури і подає через МПК і БРУ7 на виконавчий механізм (поз. 5в,6в) аналогові регулюючі сигнали. При цьому виконавчий механізм за допомогою свого регулюючого органу змінює своє положення.

Тепер оберемо МПК. В нашій схемі використано 5 аналогових вхідних сигналів (AI), 6 вхідних дискретних сигналів (DI) і 4 вихідні дискретні (DO) сигнали.

Найбільш близьким до вирішення даної задачі є мікропроцесорний 17 контролер типу **SIMATIC S7-300**, який має: AI -8шт, AO-4, DI-19 шт, DO-5

шт, має інтерфейс RS-485 зв'язку з ПК і, таким чином, задовольняє нашим вимогам.



Рис. 5.1 – Контролер SIMATIC S7-300

5.4 Висновок до розділу 5

В розділі були вказані засоби збору інформації про хід технологічного процесу, оголошено регламенти функціонування і підібрано умови для роботи системи автоматичного керування.

Контролер для реалізації розроблених алгоритмів керування: SIMATIC S7-300.

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

6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж

Виконав аналіз технологічної схеми та функцій які повинна реалізовувати система керування складемо таблицю (табл. 6.1) зі списком параметрів які повинні вводитись і виводитись з контролера.

Таблиця № 6.1. Список параметрів які вводяться і виводяться із контролера

№ пп	Назва параметра	Умовне позначення	Вид сигналу A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході/виході контролера	Позначення на схемі
1	Температура повітря на вході	2a	A	I	(4-20 мА)	AI1
2	Температура повітря на виході	3a	A	I	(4-20 мА)	AI2
3	Температура <u>хладагенту</u>	4a	A	I	(4-20 мА)	AI3
4	Температура повітря в камері	5a	A	I	(4-20 мА)	AI4
5	Керуюча дія, що змінює положення золотника	6в	A	O	(0-20 <u>мА</u>)	AO1
6	Керуюча дія, що змінює перепад тиску	6б	A	O	(0-20 мА)	AO1
7	Контроль тиску	<u>Pv1</u>	D	I	+ 24 <u>V</u>	DI1

8	Контроль рівня хладагенту у цирпі	LSz	D	I	+ 24 В	DI2
9	Сигнал кнопки авт. пуска	SB_pusk	D	I	+ 24 В	DI3
10	Сигнал кнопки авт. останова	SB_stop	D	I	+ 24 В	DI4
11	Сигнал керування ЕД компресора М1	M1	D	O	«відкритий колектор»	DO1
12	Сигнал с доп. контакта пускача ЕД компресора М1	M1_KM	D	I	+ 24 В	DI5
13	Сигнал керування ЕД золотника М2	M1	D	O	«відкритий колектор»	DO2
14	Сигнал с доп. контакта пускача ЕД золотника М2	M1_KM	D	I	+ 24 В	DI6
15	Сигнал керування звук. сигнал.	HA	D	O	«відкритий колектор»	DO3

Кількість каналів вводу\виводу:
AI – 4, AO – 2, DI – 6, DO - 3

6.2. Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

Програмна реалізація алгоритмів логічного керування виконана в програмному модулі PLC_PRG який обчислюється з кроком 0.05с

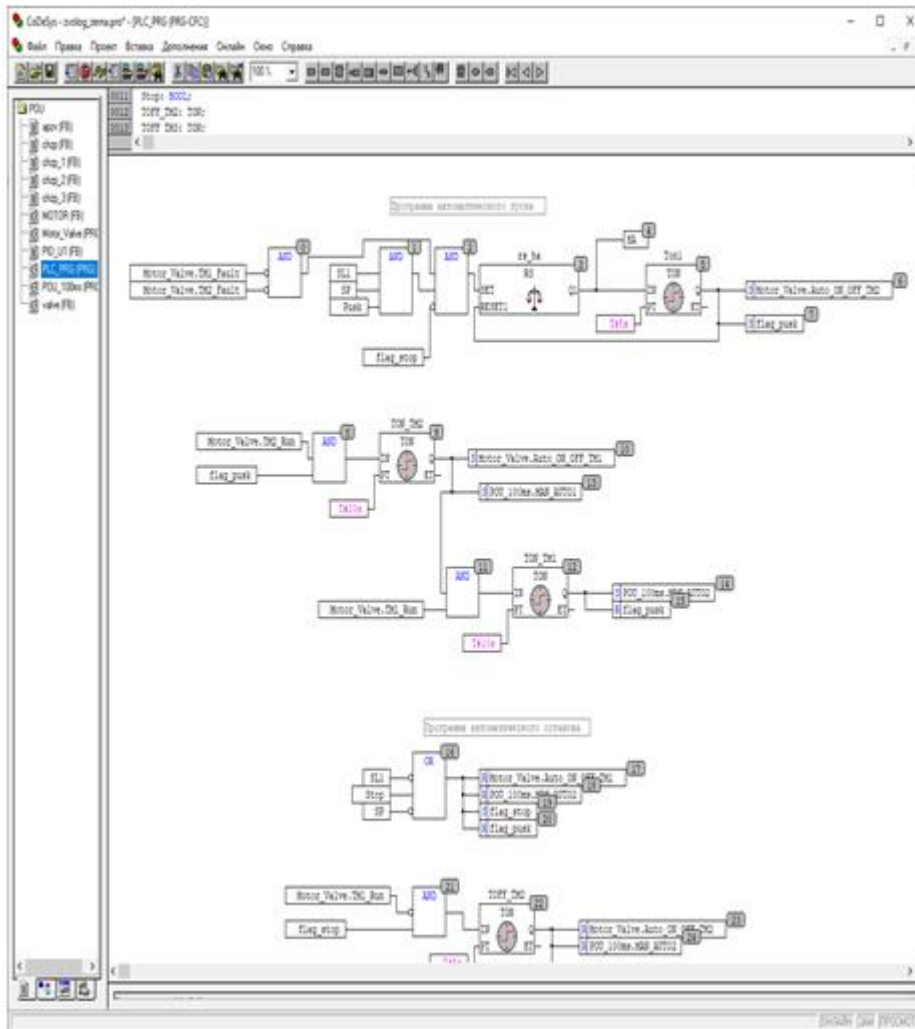


Рис.6.1 Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичного пуску та зупинки.

Програма логічного керування формує сигнали для підпрограм керування двигунами, клапанами та контурами регулювання. Розрахунок підпрограм керування двигунами та клапанами виконується у програмному модулі Motor_Valve (рис.6.2).

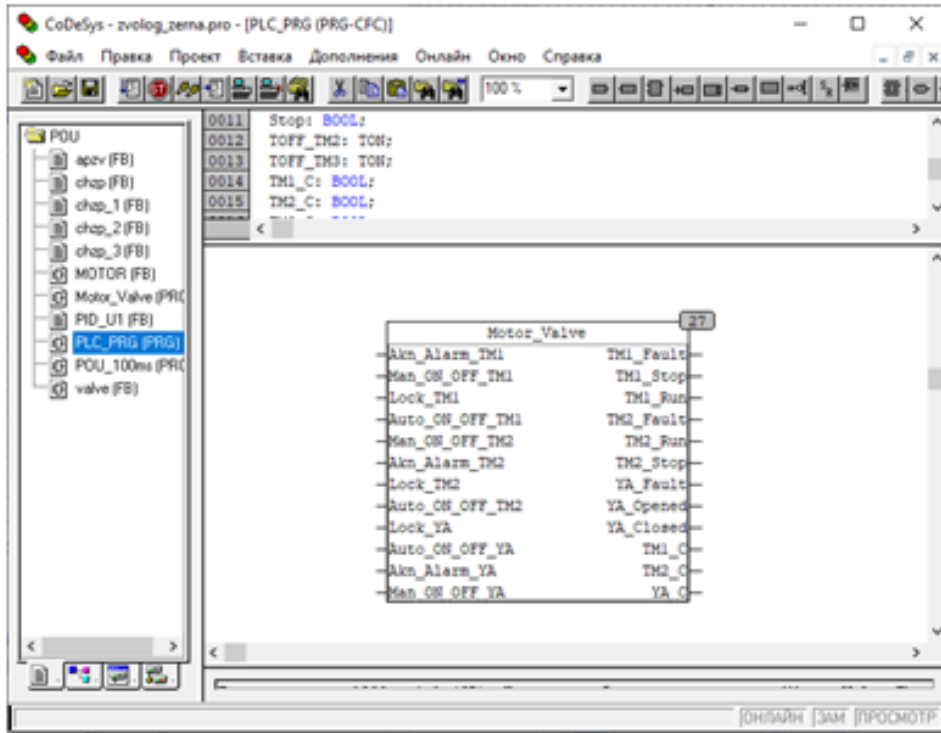


Рис.6.2. Фрагмент програми PLC_PRG з викликом модуля Motor_Valve.

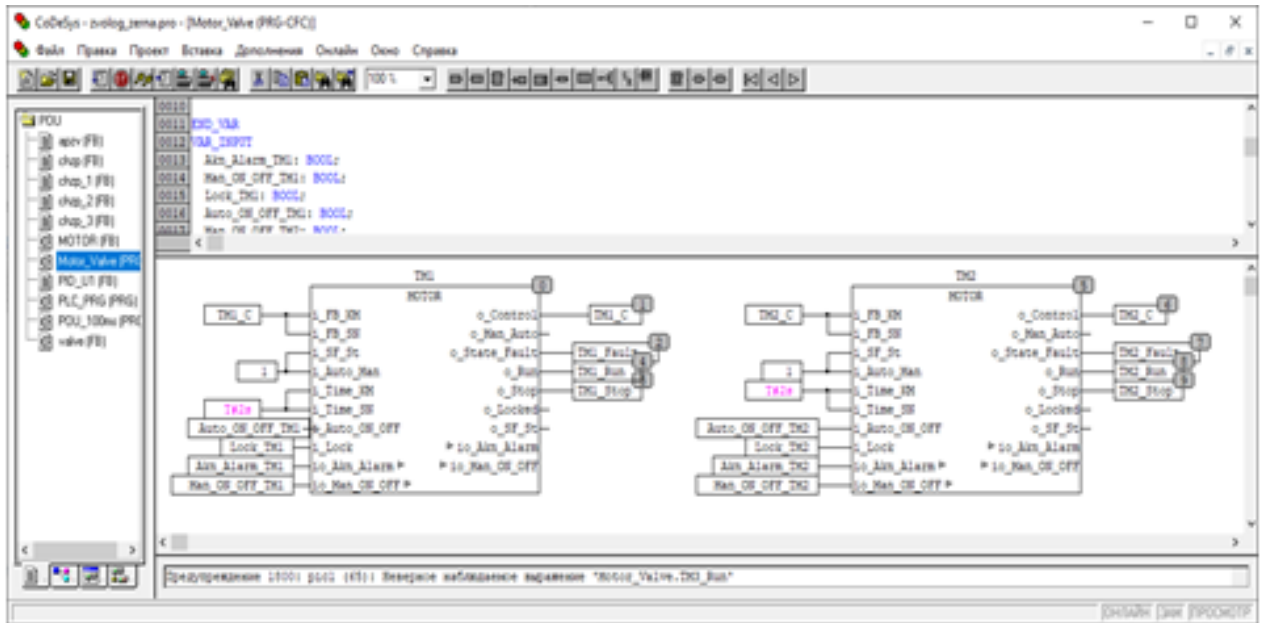


Рис.6.3. Внутрішня структура програмного модуля Motor_Valve

Декілька входів та виходів функціональних блоків управління двигунами та клапанами з'єднуються з входами та виходами контролера для управління та аналізу стану двигуна чи клапана.

Внутрішня структура функціональних блоків керування двигуном та клапаном наведена на рис. 6.4-6.5

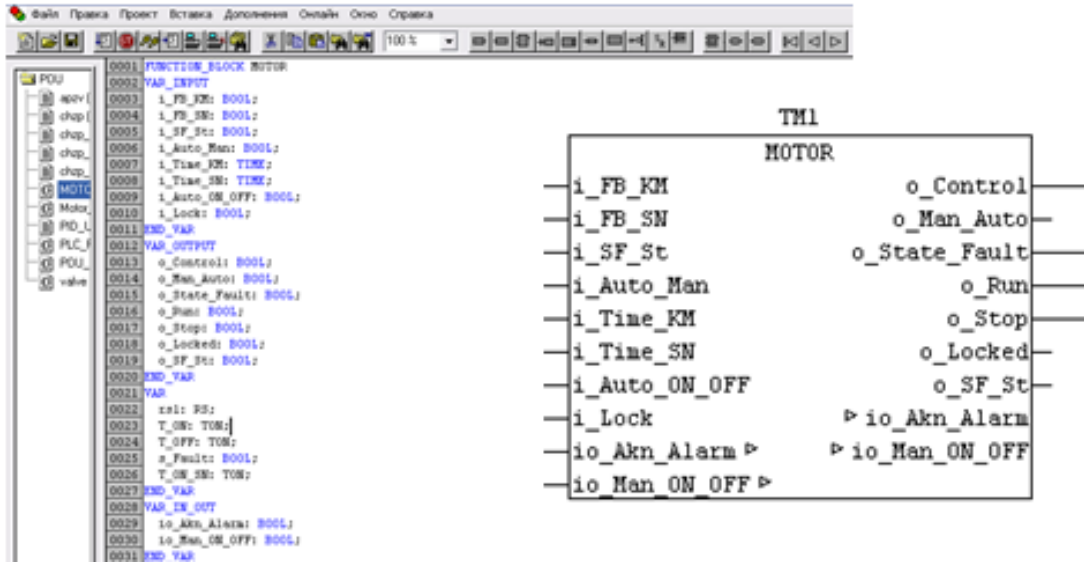


Рис.6.4. Загальний вигляд блоку керування двигуном та список змінних підпрограми що його реалізує.

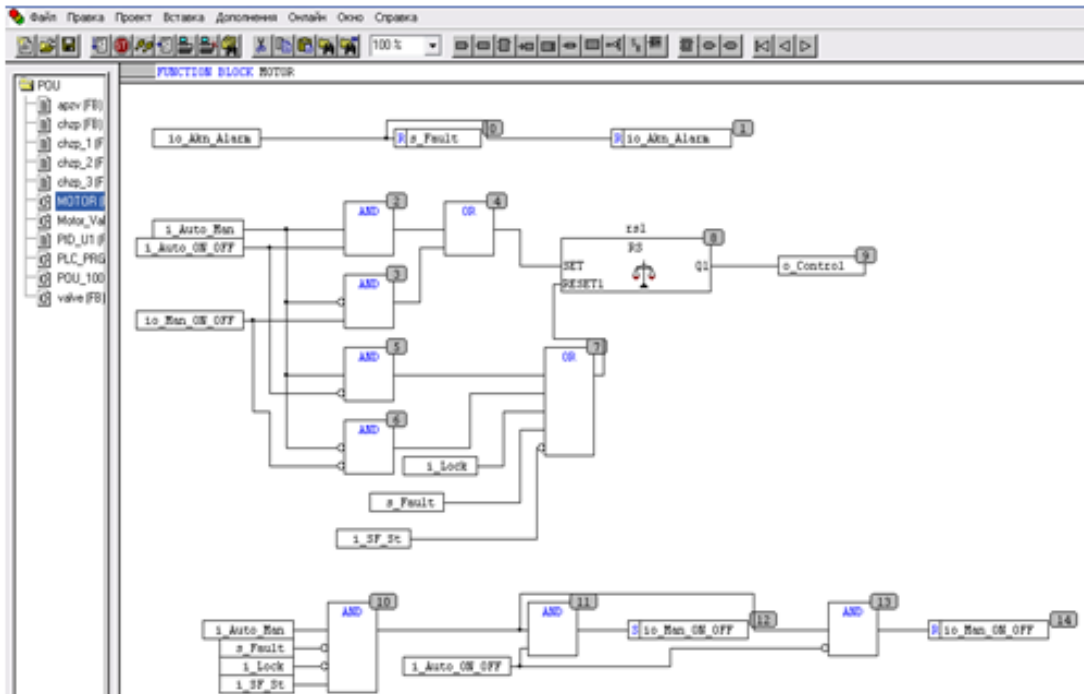


Рис.6.5. Фрагмент підпрограми що реалізує блоку керування двигуном

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

7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора технолога.

Взаємодія автоматизованого робочого місця (АРМ) та мережі контролерів з допомогою OPC - сервер розглянемо на прикладі реалізації зв'язку засобами пакету CoDeSys 2.3, в якому розробляється ПО контролера. Як приклад розглянемо реалізацію зв'язку тільки для контурів регулювання. В наявності контролера СРМ713 не має, тому для тестування в якості цільової платформи оберемо 3S CoDeSys SP PLCWinNT V 2.4.

Проводимо конфігурацію OPC – серверу у пакеті CoDeSys 2.3, для обміну даними зі SCADAсистемою. Для цього вказуємо які змінні потрібно включити в мережевий обмін даними (рис.7.1) та налаштуємо параметри мережевого зв'язку (рис 7.2). В мережевий обмін включаємо регульовані змінні та їхні задані значення.

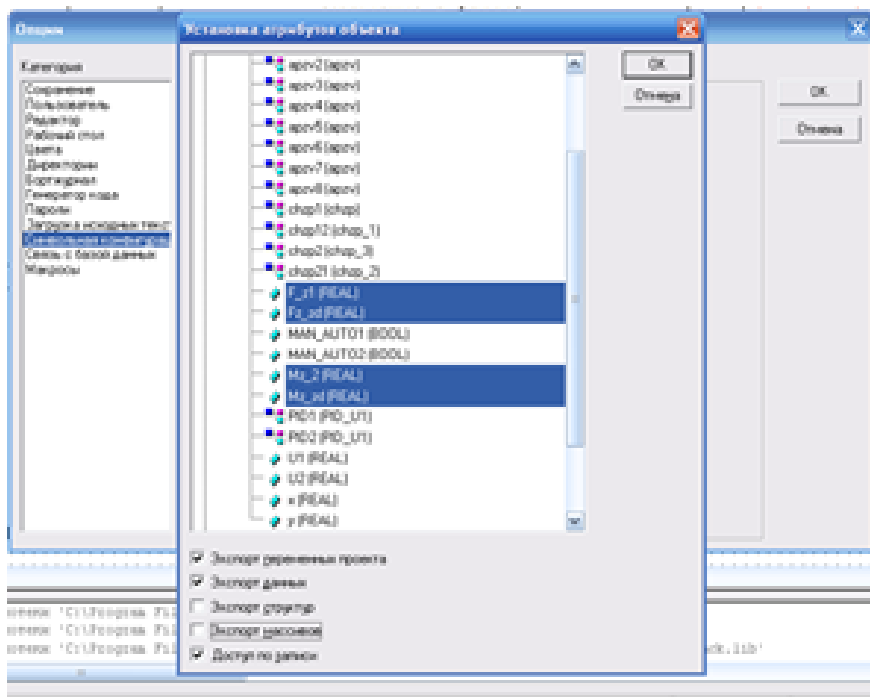


Рис. 7.1 - Фрагмент налаштування символічного файлу для обміну даними з використанням OPC - сервера.

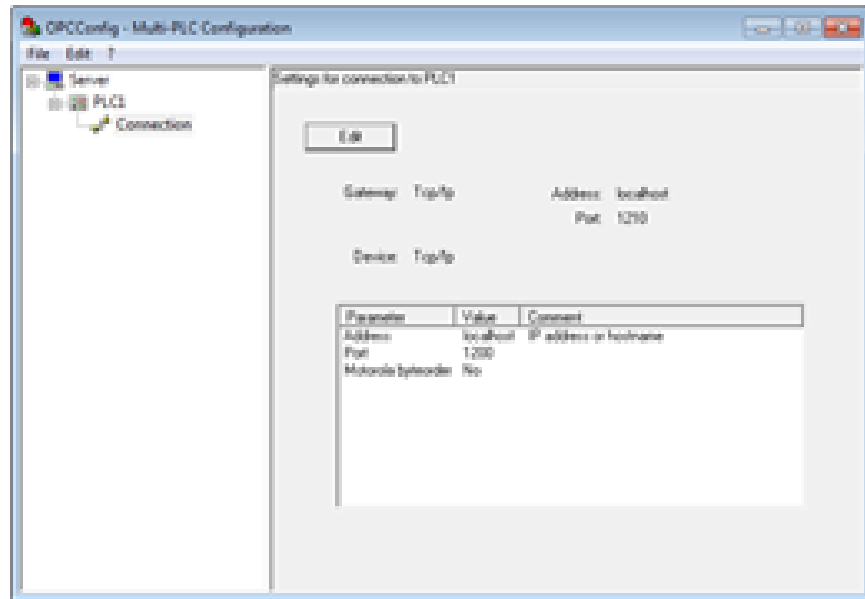


Рис. 7.2 - Вікно налаштування параметрів мережевого зв'язку для OPC -сервера. Після конфігурації вибрані змінні будуть доступні OPC - клієнтам. Зокрема SCADA-системам.

У середовищі SCADA-системи WinCCFlexible реалізуємо вікно трендів для відображення зміни поточних та заданих значень регульованих змінних. Проводимо підключення до OPC сервера CoDeSys 2.3 в середовищі WinCCFlexible та формування нових тегів.

На рис. 7.3 та 7.4 представлені вікна налаштування мережевого підключення до OPC сервера CoDeSys та створення тегів пов'язаних з OPC сервером в SCADA системі WinCCFlexible

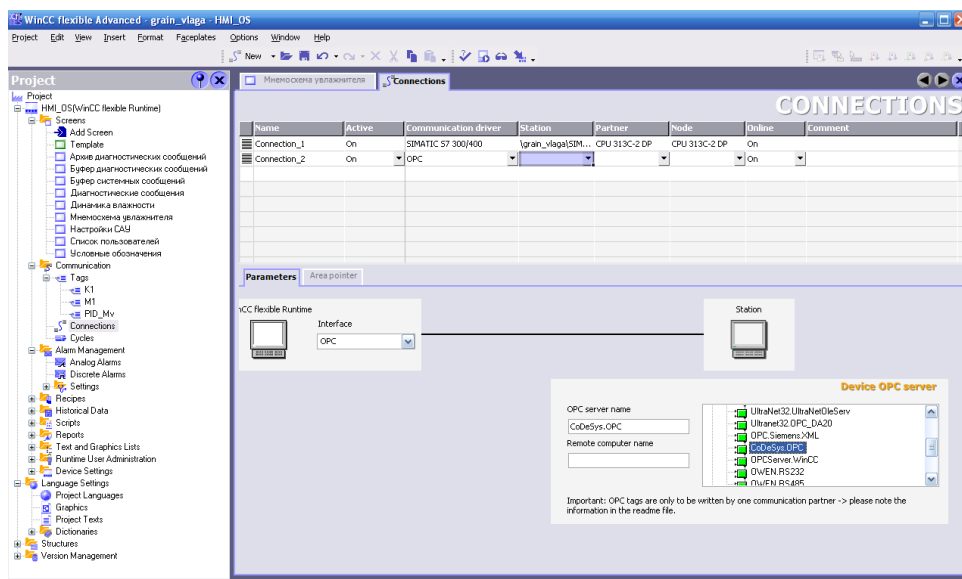
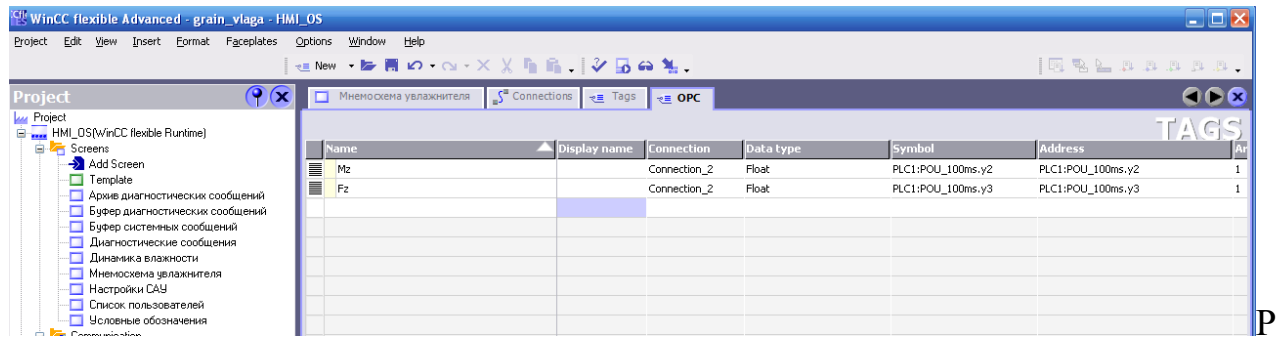


Рис. 7.3. Вікно створення мережевого підключення до OPC сервера



ис. 7.4. Вікно створення тегів пов'язаних з OPC сервером CoDeSys в SCADA системі WinCCFlexible

Результати тестування мережевого обміну даними між SCADA системою WinCCFlexible і програмою контролера створеної в пакеті CoDeSys з допомогою OPC сервера CoDeSys підтвердили обмін даними

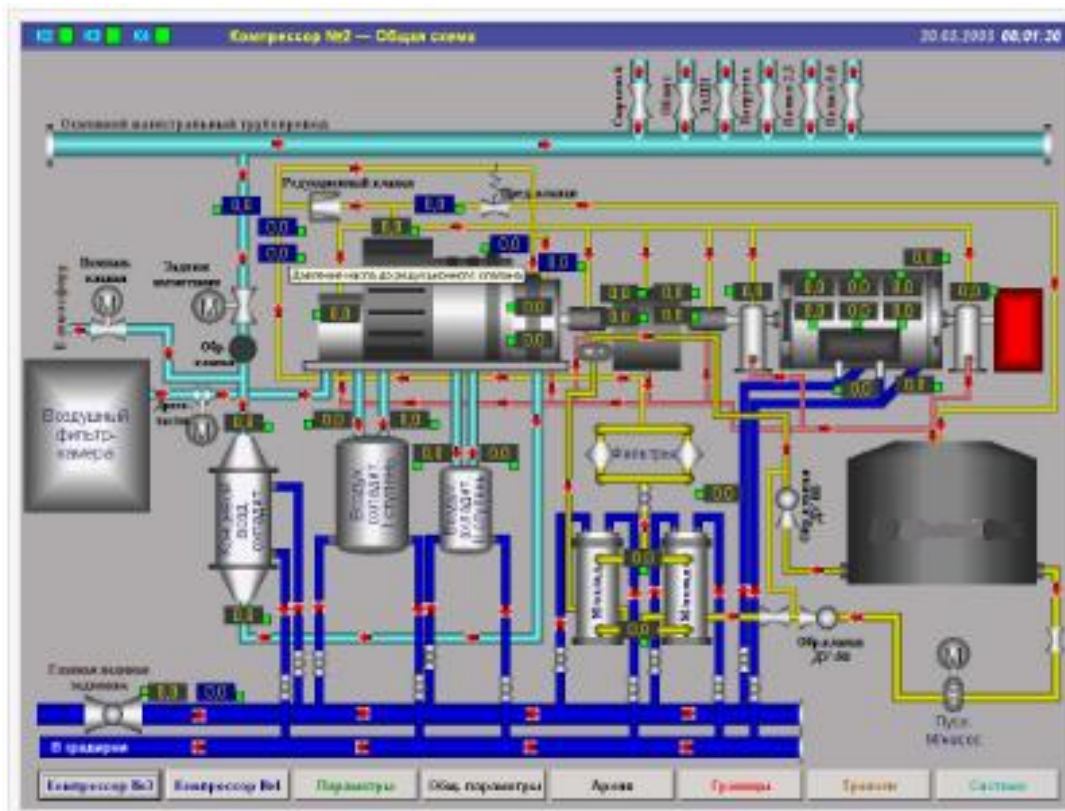


Рис. 7.5 – SCADA система технологічного процесу зберігання плодовоовочевої продукції.

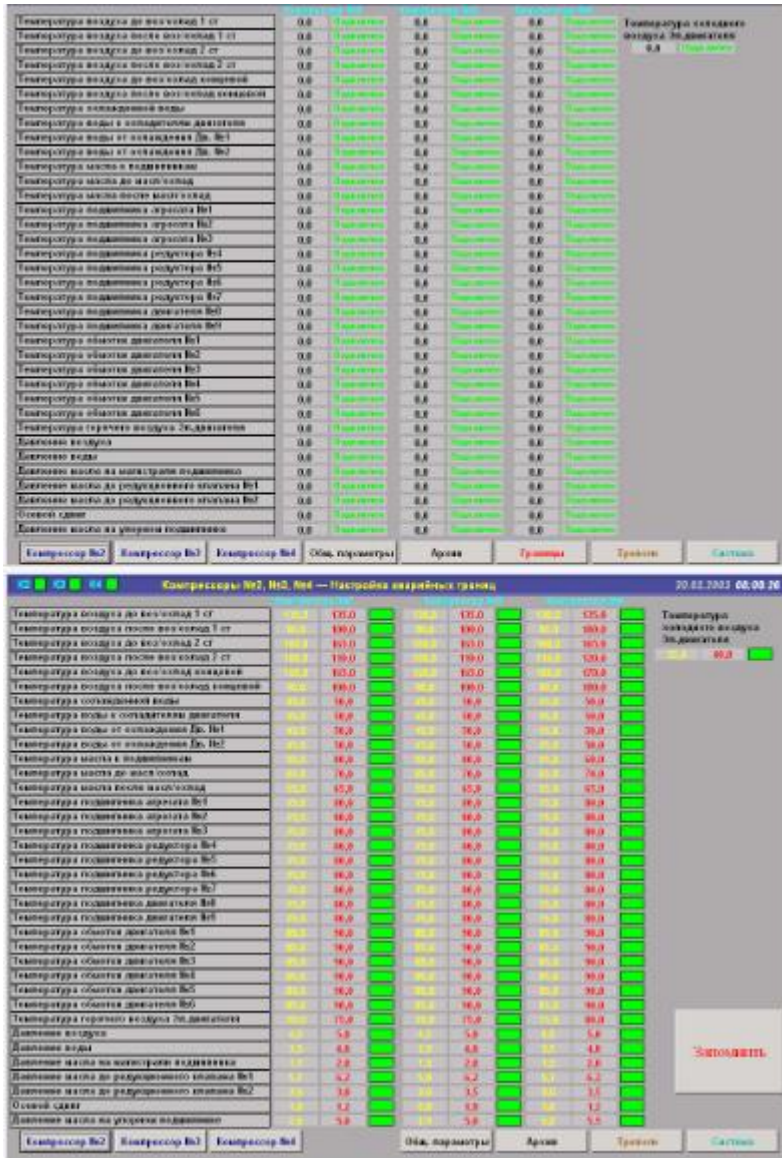


Рис. 7.6 – Параметры SCADA системы и APM оператора.

Розділ 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

Об'єктом управління є процес зберігання плодово-овочевої продукції. Фрукти та овочі є дуже цінними продуктами харчування, оскільки містять нічим не замінний комплекс вітамінів, ензимів та інших біологічно активних речовин, необхідних підтримки здоров'я людини.

У кожній країні щорічно виробляється близько 4 млн. т фруктів та овочів. Проте втрати під час зберігання цієї продукції становлять понад 30%. В результаті в зимово-весняний період понад 50% фруктів та овочів поставляється з-за кордону.

Таким чином, за цими цінними продуктами харчування, необхідними для збереження здоров'я людини, країна відчуває високу залежність від імпорту. Весь процес контролюється комп'ютером, з якого оператор може регулювати температуру в камері. Перелік основних параметрів процесу та похибка їх вимірювання наведені в таблиці 8.1

Таблиця 8.1

Найменування параметра	Умовне позначення	Діапазон вимірювання	Допустима похибка	Роль та значення параметра
Температура в камері	θ	3 °С	± 2 °С	Якісний показник процесу
Температура повітря на виході випарника	θ_v	0 С	± 1 °С	Визначає умови протікання процесу

8.2. Основні технічні рішення

Поз. позначення	Найменування	К - сть.	Примітка
<u>Перелік приладів на схемі автоматизації</u>			
<u>Прилади за місцем</u>			
4а,5а,6а,7а,8а	Датчик температури ТЕРА (ТСП1-3-100П) живл.24 В, вих.4-20мА, -50-250 °С, потужність перетворювача 0,48 Вт	5	
4б	Привід Velimo NFT24-MFT	1	
9а	Індуктивний кінцевий датчик NPN TL-Q5-МС1, живл 24В.	1	
<u>Прилади на щиті оператора</u>			
4б	Блок ручного управління БРУ-7, живл. 220 В, вх. сигн. 4-20 мА, з КБЗ -24-19, потужн. 7Вт	1	
5б,6б,7б,8б	Індикатор технологічний мікропроцесорний ПТМ-110, живл 24В, вх. сигн. 4-20 мА, потужність 4.32Вт	4	
МПК	Контролер програмований SIMATIC S7-300, CPU313C-2DP	1	
	Модуль аналогового вводу SM 331-7KF02-0AB0	1	8АІ
	Модуль аналогового виводу SM 332-5HB01-0AB0	1	2АО
	Модуль дискретного вводу-виводу SM 323-1BH01-0AB0	1	8DІ/ 8DО
	Блок живлення PS 307, АС100/240V, DC 24V,5А	1	
11	PC ADAPTER USB A2 (SM USB to MPI) , USB CABLE 5M INCLUDED MPI KABEL, 0,3M (6GK1571-0BA00-0AA0)	1	з каб. 5м
<u>Технічні засоби в операторському пункті</u>			
ПК	Персональний комп'ютер в комплекті	2	
РГЗ №1 з ПСА	Специфікація до схеми автоматизації		Лист 1

Рис. 8.1 – Розшифрувальна записка до додатка А

(Додаток А) За результатами вибору КТС й відповідно до складеної технічної структури, розроблений комплект проектної документації на систему управління згідно до [1, 2, 3]. Комплект включає графічні та текстові документи:

графічні:

1 – схему автоматизації;

2 – принципову електричну схему контролю й управління;

3 – принципову електричну схему живлення;

текстові:

— специфікації до всіх графічних документів;

– пояснювальна записка до проекту.

Щит оператора встановлюється поблизу від термокамери. На внутрішніх площинах щита оператора встановлюють електричні прилади, апаратуру, трансформатори, блоки живлення, а на фасадній панелі прилади, 4 що показують, кнопкові станції, ключі вибору режиму й задатчики.

Виходячи з того, що процес варки є процесом для якого ВМ та датчики потрібні у спеціальному захисному виконанні,. Контролер, що реалізує основні функції контролю та регулювання лінії Simatic S7-300 фірми "Siemens", обраний з програмованих моделей S7, оснащений інтерфейсом MPI. Всі модулі вводу/виводу серії S7-300 фірми " Siemens " та ЦП монтуються на DIN-рейці, як окрема конструкція в щиті оператора.

Вони використовуються для підтримки регламентних значень, передачу даних на робочу станцію на базі IBM PC сумісного комп'ютера, встановленого також в ОП. Контролери даної фірми серії Simatic S7-300 призначені для організації взаємодії між обчислювальною системою (ПК), що реалізують функції відображення та архівації інформації й датчиками безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми.

Модулі забезпечують виконання наступних основних функцій: прийом і дешифрацію команд по каналу RS 485; введення й нормалізацію аналогових сигналів (струм, напруга); опитування стану дискретних входів; фільтрацію аналогових і дискретних вхідних сигналів; виводи аналогових сигналів управління; виводи дискретних сигналів, через релейні виходи.

Взаємодія контролера й комп'ютера здійснюється за допомогою модуля інтерфейсного зв'язку (модуль PC ADAPTER), що перетворює сигнали стандарту RS 485 в стандарт USB. Для керування термокамерою застосовується IBM PC сумісний комп'ютер на якому встановлена SCADA-система, що

призначена для оперативного контролю, сигналізації, реєстрації параметрів. Також є можливість передачі даних на комп'ютери, що встановлені за межами ОП, за допомогою локальної мережі.

Опис схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й що роз'ясняє певні процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до ДСТУ Б.А. 2.4-16:2008 (заміна ГОСТ 21.404 – 85) "Система проектної документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів.

Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах". Особливістю розробленої схеми є те, що всі функції системи розподілені між контролерами (МПК і регуляторами БРУ-7) та комп'ютером (ПК). Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує комплект контролерів сумісно з ПК, розташованим в операторському пункті. Всі використані датчики обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20мА), вихідні аналогові сигнали також 4...20 мА. Розглянемо перелік контурів контролю й керування наведеній на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

- 1 – управління та контроль стану електропривода компресора;
- 2 – управління та контроль стану електропривода вентилятора обдуву;
- 3 – управління та контроль стану електропривода вентилятора циркуляції повітря;
- 4 – контроль (адреса лінії зв'язку – 4), стабілізація (адреса лінії зв'язку – 5) температури в камері.

5 – контроль (адреса лінії зв'язку – 6) температури у випарнику;

6 – контроль (адреса лінії зв'язку – 7) температури у після випарника;

7 – контроль (адреса лінії зв'язку – 8) температури повітря з атмосфери;

8 – контроль (адреса лінії зв'язку – 9) температури повітря до атмосфери;

9 – контроль (адреса лінії зв'язку – 10) положення дверей;

В контурі 10 реалізована функції автоматичного пуску та останову лінії, передпускової сигналізації, а в контурі 11 функція передпускової сигналізації.

В контурі 12 реалізована функція перетворення інтерфейсних зв'язків між ПК, МПК. У контурах керування приводами (1,2,3) встановлені для кожного ланцюга управління на щиті ключі вибору режиму керування ("автоматдистанція"), кнопки "ПУСК", "СТОП", а також світлосигнальна арматура (світлодіод), що показує стан роботи двигуна; по місцю встановлений пристрій відключення двигуна (кнопка "СТОП").

У контурі (4) управління виконавчим механізмом, для контуру на щиті встановлені багатофункціональні прилади типу БРУ-7 з КБЗ-24-19. На лицевій панелі корпусу БРУ-7 можна побачити та змінити задане значення параметру (0 – 100%), переключити режим управління контуру (ручне – автоматичне), побачити на цифровому індикаторі поточне значення регульованої змінної та сигналізацію її граничних відхилень.

Розглянемо дію контуру 4. Від датчика розрідження з уніфікованим перетворювачем 4а та сигнал струму (4-20мА) подається на БРУ-7 (3б), через який подається на вхід АІ модуля (SM 331 6es7331-7KF02-0AB0) до МПК. Вихідний сигнал (аналогове управління) з МПК (АО SM332 6es7 332-5NB01-0AB0) подається на БРУ-7 (4б), звідки в автоматичному режимі роботи БРУ сигнали (аналоговий сигнал) подаються на виконавчий механізм(4в). В ручному (дистанційному) режимі сигнали на частотний перетворювач (4в) подаються оператором з БРУ-7.

Контур 5,6,7,8 забезпечують контроль температур за допомогою термометрів з уніфікованим перетворювачем 5а,6а,7а,8а сигнал(4-20мА) подається до приладу ІТМ-110 та за допомогою аналогового входу АІ подається на модуль SM332 6es7 332-5NB01-0AB0 і потім до МПК.

Контур 9 забезпечує індикацію положення дверей камери за допомогою кінцевого вимикача 9а. Дискретний вихід МПК підключений до кінцевого вимикача 9а, при наявності закритого положення дверей, реле замикає свої контакти, МПК отримує дискретний сигнал. 6

У додатку А1 наведена специфікація приладів та засобів, що використані в схемі автоматизації.

8.3 Опис принципової електричної схеми

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
<u>Перелік приладів на принциповій електричній схемі</u>			
<u>Прилади за місцем</u>			
1KM, 2KM,3KM	Магнітний пускач Schneider Electric LC1K0610M7 3P IHO 06A 220V	3	існуючі
1KM3, 2KM3,3KM3	Блок додаткових A1KN02 2НЗ ,гвинтовий затискач	3	
1SB1, 2SB1, 3SB1	Кнопки КМЕ 4201, 1 р	3	
4R	Резистор змінний високоточний 2,2 кОм, СП5	1	
HA	Дзвоник електричний UWE 24В, 0,06А	1	
<u>Прилади в силовому щиті</u>			
1QF,2QF, 3QF	Автоматичний вимикач триполюсний HagerNCN340, 16А	3	існуючі
	з додатковим контактом		
	з додатковим контактом		
1FU-8FU	Запобіжник із плавкою вставкою ВІТ	8	існуючі
<u>Прилади на щиті оператора</u>			
1SA, 2SA,3SA, 11SA	Перемикач ELFIN 22 на 3 положення,	4	
1SB3, 2SB3,3SB3,1 0SB1	Кнопка ELFIN 22, 1з, зелений ґтовкач, (Пуск)	2	
1SB2, 2SB2,3SB2,1 0SB2	Те ж, 1р, червоний ґтовкач, (Стоп)	3	
1K1, 2K1,3K1	Реле проміжне, Weidmuller PS 35836971, 24В, (одногрупне)	2	
1VD,2VD,3V D,9VD	Світлосигнальна арматура у сборі ELFIN 22, 24В пост.	4	
РГЗ №1з ПСА		Специфікація до принципової електричної схеми	
		Лист 2,3,4	

Рис. 8.2 – Розшифрувальна записка до Додатків Б, В, Г (початок)

Поз. позначення	Найменування	К-сть	Примітка
	<u>Перелік приладів на схемі</u>		
	<u>принципової електричної живлення</u>		
SF1	<u>Вимикач автоматичний ВА47-29М, 6А</u>	1	
SF2	Те ж, 1А	1	
SF3	Те ж, 5А	2	
EL	Патрон косий настінний Е27 ФнП-03	1	
XS1	Розетка РШ-0-2- двополюсна, 5А	2	
XS2, XS3	Розетка РШ-0-3- триполюсна, 10А	2	
SA1, ..., SA 6	Вимикач, ПВ-1-16, 16А	6	
FU1	Запобіжник із плавкою вставкою, ПТ, 2А	1	
FU2	Те ж, 12А	1	
FU3	Запобіжник із плавкою вставкою, ПК-30, 0,15А	1	
FU4	Запобіжник із плавкою вставкою, ПК-30, 0,5А	1	
FU5	Те ж, 0,5А	1	
FU6	Те ж, 0,5А	1	
FU7	Те ж, 0,15А	1	
FU8	Те ж, 0,15А	1	
G1	Блок живлення стабілізований MeanWELL DR 120-24(120Вт,24В,5А)	1	
G2	Джерело безперебійного живлення (UPS)	1	
	Power Must 800VA		
РГЗ №13 ПСА	Специфікація до принципової електричної схеми живлення		Лист 2,3,4

Рис. 8.3 – Розшифрувальна записка до Додатків Б, В, Г (продовження)

(Додатки Б, В, Г) На принциповій електричній схемі (додатки Б, В, Г) показані елементи, які виконують строго певну функцію і які не можуть бути розділені на частини. Ця схема дає уявлення за допомогою графічних зображень і позначень про послідовність роботи електричних приладів й елементів для досягнення поставлених функціональних завдань.

Схема складена відповідно до вимог Держстандартів (ГОСТ) :

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.701. ЕСКД. Схеми. Види й типи. Загальні вимоги до виконання

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.702. ЕСКД. Правила виконання електричних схем;

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.709. ЕСКД. Система маркування ланцюгів в електричних схемах.

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.710. ЕСКД. Позначення умовні, буквеноцифрові, які вжиті на електричних схемах. Особливістю принципової електричної схеми контролю й керування, є те, що відповідно до Керівних матеріалів ВНДПКІ "Харчопромавтоматика", вона будується як сполучена схема контролю, керування, сигналізації й підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера.

При необхідності пуску електродвигуна в дистанційному режимі при включеному 1-QF, ключ 1-SA переводять у положення 1, після чого натисканням кнопки «Пуск» (замикаючої) 1-SB3 забезпечують подачу живильної напруги (220 В фаза – нейтральний провід) на котушку контактора 1-КМ, що замикає головні контакти 1-КМ і двигун починає обертатися.

Додатковий контакт 1-КМ (замикаючий), який шунтує кнопку 1-SB3, також замикається в момент подачі напруги на котушку, що забезпечує так назване «самопідхоплення» роботи електродвигуна і дозволяє операторові відпустити пускову кнопку, через 1-3 секунди після натискання.

Факт роботи електродвигуна перевіряється при наявності світлової сигналізації по зміні світіння індикатора. Подібне рішення, є захистом від провалля і повторної подачі напруги (захист від мінімальної напруги), тому що виключає можливість пуску електродвигуна, неконтрольованого оператором. При необхідності зупинити електродвигун, натискають кнопку «Стоп» (що розмикає) 1-SB2, розташовану на щиті оператора або аналогічну кнопку 1-SB1, розташовану по місцю (поблизу електропривода).

При знеструмленні контактора 1-КМ, його головні контакти розмикаються, і двигун зупиняється. При роботі в автоматичному режимі ключ вибору 1-SA переводять у положення 3, при цьому при спрацьовуванні контакту К автоматичного пристрою (реле) котушка 1-КМ магнітного пускача одержує живлення (220 В), у результаті чого спрацьовують головні контакти пускача і двигун починає обертатися.

Зупинка двигуна відбувається при розмиканні контакту К, а 7 також, при необхідності, оператор має можливість самостійно його зупинити використовуючи кнопку «Стоп» та ключ 1-SA – переведення в положення 2. Для полегшення читання таких схем на них приводять діаграму роботи ключа вибору режиму.

Розглянемо роботу контуру стабілізації температури в камері (контур 4). На схемі показано підключення аналогового сигналу від датчика розрідження (4а), дискретного сигналу стану (режиму) блока ручного управління (АВТ-ДИСТ), а також вихідного аналогового сигналу для управління виконавчим механізмом (4в). При реалізації уведення аналогового сигналу використаний той же принцип струмової петлі.

Вихідний аналоговий сигнал подається від клем 03+ та 06- модуля SM 331 bes7331-7KF02-0AB0 дротами 3-4 через контакти "11", "12" поступає на дріт 3-5 (в автоматичному режимі) та по ньому на клему 4 частотного перетворювача і з клеми 1 на 902 («-») , аналогічно в дистанційному режимі аналоговий сигнал подається від ручного задатчика БРУ-7 від кл.9 через контакти, що переключають (кл.11 та 12).

Розглянемо роботу контуру стабілізації швидкості обертів барабану (контур 4). Контури 5,6,7,8 забезпечує контроль температур за допомогою термометрів з уніфікованими перетворювачем 5а,6а,7а,8а сигнал подається до приладу ІТМ-110 та за допомогою аналогового входу АІ подається на МПК. Живлення усіх датчиків і щитових приладів здійснюється від джерел показаних на схемі електроживлення.

Схема звукової передпускової сигналізації (дзвоник НА) включає ключ 11-SA та реле 11К1. Переведенням в положення 1 ключа оператор подає сигнал у дистанційному режимі, а в положенні 3 включає автоматичний режим, в положенні 2 сигналізація відключена. На схемі відображено також підключення до ПК, через перетворювач інтерфейсів 12, пристрій, що має інтерфейсний зв'язок: МПК.

У додатку наведена специфікація електроприладів та засобів, що використані в схемі принциповій електричній.

8.4. Розробка принципових електричних схем живлення

Позначення	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
		<u>Стандартні виробы</u>		
1		Щит SCHROFF CONCEPTLINE EMC 600x600 x420 мм, IP66	1	
		<u>Інші виробы</u>		
2	1VD,2VD,3VD,9VD, 1R,2R,3R,	Світлосигнальна арматура у сборі ELFIN 22, 24В пост. струм 16 мА, світлодіод червоний, з опорами 1,2 кОм у комплекті	3 3	
3	46	Блок ручного управління аналоговий БРУ-7 з КБЗ 24-19	1	
4	56,66,76,86	Індикатор технологічний ITM110	4	
5	1SA, 2SA, 3SA, 11SA	Перемикач ABB 020SAMONW на 3 положення	4	
6	1SB2, 2SB2, 3SB2 10SB1	Кнопка ELFIN 22, Із, зелений штовкач	3	
	1SB3, 2SB3, 3SB3, 10SB2	Те ж, Ір, червоний штовкач	3	
7		Рамка 20x40	21	
8	МПК	Контролер SIMATIC S7-300 (CPU 313C-2 DP (6ES7 313-6CG04-0AB0), PS 307, SM 331 7KF02, SM 332 5NB01 2шт., SM332 1BL00)	6	
9	PC ADAPTER	PC ADAPTER USB	1	
10	FU1-FU8	Запобіжник с плавкою вставкою ІТ	8	
11	EL	Патрон косий настінний E27ФнП-03	1	
12	TV1	Трансформатор ТСБ3-220/36В, 400Вт	1	
13	SA1- SA6	Вимикач, Lovato electric, 12А, 7GN P25	6	
14	XS1	Розетка штепсельна РШ-2	2	
15	SF1...SF4	Вимикач автоматичний ВА47-29	4	
16	XT1, XT2	Клемна колодка на 36 клем, conta-connct SRK 2,5/2A	2	
17	G1	Блок живлення	1	
18	1K1, 2K1, 3K1, 12K1	Реле проміжне, Weidmuller PS 35836971	4	
		<u>Монтажні матеріали</u>		
		Профільна шина S7-300, DIN-рейка 35мм	0,53 м 3 м	
		Короб монтажний 30 мм, пластик	9 м	
		Дріт монтажний ПВЗ*05	87 м	
РГЗ №1 з ПСА		Специфікація до принципової електричної схеми живлення	Лист	
			5,6	

Рис. 8.4 – Розшифрувальна записка до Додатку Г

(Додаток Г) Схема електрична принципова живлення розробляється з урахуванням необхідності безперебійного живлення найбільш відповідальних споживачів системи автоматизації електроенергією, зокрема контролера МПК й ПК. Крім того, для живлення ПК, МПК, через джерело безперебійного живлення, доцільно виконати індивідуальну лінію заземлення. Це є вкрай важливим і відповідальним, тому що від цього буде залежати надійна робота

програмного забезпечення системи контролю й управління, що реалізована на них.

На схемі представлено електроживлення приладів, перетворювачів, ПК і контролера. Уведення живлення здійснюється від розподільного пункту живлення (існуючого силового щита). У системі зроблений вузол для зручності та безпеки виконання ремонтних робіт (розетки з живленням 36 В) та освітлення, які живляться напругою до головного автоматичного вимикача SF1.

У щиті 8 передбачена установка вхідного автомата SF1, лампи освітлювальної EL та розетки для електроінструмента (36В). В ланцюгах лампи, трансформатору TV (220/36В) установлені вимикачі SA1, SA2 та для TV запобіжники з плавкими вставками FU1, FU2.

Живлення контролера Siemens CPU313C-2DP здійснюється від блоку живлення Siemens PS307(120Вт,24В,5А), який у свою чергу живиться від джерела безперебійного живлення G2. Живлення датчиків, розташованих по місцю здійснюється від блоку стабілізованого живлення MeanWELL DR 120-24(120Вт,24В,5А). Живлення щитових приладів типу БРУ-7, блоків живлення G3 (220/24 В), напругою 220 В.

Для запобігання з'єднання лінії індивідуального заземлення із заземленням корпусів електрообладнання необхідно забезпечити ізолювання корпусів джерел живлення G1, G2,. Живлення комплекту ПК здійснюється напругою 220 В від UPS. Ланцюги живлення (220В) приладів захищені автоматичними вимикачами, установленими в щиті оператора SF1,..., SF3, на ланцюг живлення приладу БРУ-7 встановлений вимикач SA3 та запобіжник FU3, ланцюги живлення (24В) приладів вимикачами SA4, SA5, SA6 та запобіжниками з плавкими вставками FU4,... ,FU8.

У схемі передбачений принцип маркування проводів (по рекомендаціях "ВНДПКІ" "Харчопроматоматика"), що передбачає: дроти зі змінною напругою 220В, 36В маркувати номерами 8XX, а дроти з постійною напругою 24В, 36В маркувати номерами 9XX. У додатку наведена принципова електрична схема живлення та специфікація для неї.

8.5. Розробка документації щита оператора

Позиція	Позначення	Найменування	Кіл-ть	Примітка
		<u>Перелік монтажних матеріалів і виробів на схемі зовнішніх проводок</u>		
1	КВВГнг5х4	Кабель контрольний мідний	60м	5
2	КВВГ5х1,5	Кабель контрольний мідний	40м	5
3	КВВГ4х2,5	Кабель контрольний мідний	20м	4
4	ПВСн 2*1	Дріт з'єднувальний	145 м	2
5	ПРТО 1*4	Дрот з'єднувальний мідний	50 м	8
6	MP20х2,5	Труба стальна водогазопровідна	260 м	
РГЗ №1з ПСА		Специфікація до принципової електричної схеми живлення	Лист	
			7	

Рис. 8.5 – Розшифрувальна записка до додатку Д

[Додаток Д і Е] Загальний вид щита контролю та управління наведено в додатку (Додаток Д і Е). Для реалізації функцій дистанційного контролю та управління був обраний щит SCHROFF CONCEPTLINE EMC 600x600 x420 мм, IP66. На фасадній панелі щита управління встановлені апаратура контролю, сигналізації, органи управління.

Усі прилади встановлені симетрично відносно вертикальної осі передньої панелі. Принцип сигналізації ("темна схема"), закладений у розробленому щиті, полягає в тому, що при штатному режимі світлосигнальна арматура не горить, а у випадку позаштатних режимів (зупинка двигунів) або досягнення крайніх положень ВМ горить сигнальна арматура з червоним світлофільтром. Панель щита покрита плівкою (технологія "оракал"), з написами, виконаними комп'ютерним методом.

На панелі вирізані отвори для встановлення відповідних приладів. Позначення приладів (тумблерів, кнопок, світлосигнальних елементів,

перемикачів) погоджено зі специфікаціями для схеми автоматизації, ПЕС та схеми електроживлення. 9

Кожний тип апаратури пронумерований для складання переліку складових частин, який наведений у додатку. Написи у рамках щита наведені на листі. Креслення виконані відповідно до вимог ЕСКД із зазначенням розмірів згідно до правил зображення [7, 8, 9].

Перший лист креслення виконаний у масштабі 1:4 відображає вид на фасадну площину щита оператора. Другий лист креслення виконаний у масштабі 1:5 відображає вид на внутрішні площини щита: передню, ліву, праву та задню стінку. Креслення супроводжені примітками для виконання виробу.

Контролер (МПК) встановлений на профільній шині (122мм) на монтажній панелі (задня стінка).

8.6. Розробка схеми зовнішніх проводок

[Додаток Ж] Схема виконана згідно до державних стандартів та рекомендацій керівних матеріалів [7, 9, 10] і наведена у додатку Д. На схемі представлена прокладка кабелів від датчиків, ВМ, магнітних пускачів двигунів, ЧП, а також ланцюгів живлення до щита оператора й прокладка кабелів від щита оператора до комплекту ПК, який розташований в операторському пункті.

Кабелі промаркіровані порядковими номерами (1, 2, 3, ...). Прокладку вимірювальних ланцюгів 4..20 мА від датчиків і ланцюгів сигналізації 24В здійснюють кабелем контрольним мідним КВВГ перетином 1,0 та 1,5 мм², а також проводом з'єднальним ПВСн перетином 1 мм².

Ланцюги живлення двигунів (380/220В) прокладаються кабелем контрольним мідним КВВГнг перетином 2,5 мм². Такий перетин дозволяє передавати струм до 21А, що є достатнім для потужності двигунів.

Для захисту кабелів при прокладці їх через перекриття й на висоту до 2,5 метрів застосовується труба водогазопровідна МР-20*2,5.

Монтаж приладів і засобів автоматизації, прокладку проводів до них здійснюють із дотриманням вимог монтажноексплуатаційних інструкцій заводів-виготовлювачів, будівельних норм і правил.

Перелік монтажних матеріалів і виробів наведений у специфікації (в додатку Ж).

Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.

9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації

1. Датчики

- Датчики температури (DS18B20): 10 одиниць * 5 USD = 50 USD
- Датчики вологості (DHT22): 10 одиниць * 10 USD = 100 USD
- Інфрачервоні датчики CO2 (MH-Z19): 5 одиниць * 35 USD = 175 USD
- Електрохімічні датчики кисню (MQ-135): 5 одиниць * 20 USD = 100 USD

2. Контролери

- PLC (Programmable Logic Controller): 1 одиниці * 1200 USD = 1000 USD

3. Виконавчі механізми

- Реле: 10 одиниць * 3 USD = 30 USD
- Серводвигуни: 5 одиниць * 15 USD = 75 USD
- Соленоїди: 5 одиниць * 20 USD = 100 USD

4. Комунікаційні засоби

- Ethernet кабелі: 10 одиниць * 5 USD = 50 USD
- Wi-Fi модулі (ESP8266): 5 одиниць * 10 USD = 50 USD

5. Програмне забезпечення

- Node-RED: безкоштовно
- MQTT Broker (наприклад, Mosquitto): безкоштовно
- SCADA-системи (наприклад, Ignition): 1 ліцензія * 1000 USD = 1000 USD

6. Інші витрати

- **Монтаж та налаштування:** 500 USD
- **Навчання персоналу:** 300 USD

Загальна вартість

1. **Датчики:** 425 USD
2. **Контролери:** 1200 USD
3. **Виконавчі механізми:** 205 USD
4. **Комунікаційні засоби:** 100 USD
5. **Програмне забезпечення:** 1000 USD
6. **Інші витрати:** 800 USD

Загальна вартість: 425 USD + 1200 USD + 205 USD + 100 USD + 1000 USD + 800 USD = **3730 USD**

Висновок

Загальна вартість комплексів засобів автоматизації, необхідних для модернізації системи керування процесом зберігання плодоовочевої продукції, становить приблизно 3730 USD. Це розрахунок є орієнтовним і може змінюватися в залежності від конкретних вимог проекту, вартості обладнання та послуг на ринку.

Висновки дипломної роботи

Під час виконання дипломної роботи на тему "Автоматизація процесу керування процесом зберігання плодоовочевої продукції" були досягнуті наступні результати:

- **Актуальність дослідження:** Обґрунтовано актуальність впровадження автоматизованих систем керування у сфері зберігання плодоовочевої продукції. Виявлено, що автоматизація дозволяє значно підвищити ефективність та надійність процесу зберігання, знизити втрати продукції та покращити її якість.
- **Аналіз літератури та існуючих технологій:** Проведено детальний огляд сучасних методів та технологій зберігання плодоовочевої продукції, а також систем автоматизації, що застосовуються в цій галузі. Виявлено, що більшість існуючих систем потребують модернізації для забезпечення більш точного контролю за умовами зберігання.
- **Вибір технічних засобів:** Обрано оптимальні технічні засоби для отримання інформації про змінні процесу зберігання (температура, вологість, концентрація газів). Зокрема, були розглянуті та вибрані такі датчики як термістори, термопари, цифрові датчики температури, ємнісні та резистивні датчики вологості, інфрачервоні датчики CO₂ та електрохімічні датчики кисню.
- **Розробка технічної структури мережі:** Розроблено технічну структуру контролерно-комп'ютерної мережі для автоматизованої системи керування процесом зберігання. Визначено оптимальні компоненти системи, такі як центральний комп'ютер, контролери, виконавчі механізми, комунікаційні протоколи та програмне забезпечення.

Список літератури

□ Книги та монографії:

- Сміт Дж. Системи автоматизації у сільському господарстві. – Київ: Наукова думка, 2020. – 340 с.
- Петров В.В., Іванов І.І. Автоматизація технологічних процесів: навчальний посібник. – Львів: Видавничий дім "Світ", 2018. – 250 с.
- Коваленко А.С., Мельник П.П. Інноваційні технології зберігання продукції рослинництва. – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2019. – 280 с.

□ Дисертації та автореферати:

- Кравченко, О.М. "Розробка автоматизованої системи контролю умов зберігання плодоовочевої продукції". Дис. канд. техн. наук: 05.13.07, Київський національний університет, 2021.
- Сидорова, Н.В. "Оптимізація параметрів зберігання плодоовочевої продукції в умовах автоматизованих систем". Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.12, Одеська національна академія харчових технологій, 2022.

□ Інтернет-джерела:

- "Автоматизація процесів зберігання продукції" // AgTechPortal. – URL: <http://www.agtechportal.com/automation-storage> (дата звернення: 18.06.2024).
- "Сучасні технології в агропромисловому комплексі" // AgroTechInfo. – URL: <http://www.agrotechinfo.com/modern-tech> (дата звернення: 18.06.2024).
- "Використання датчиків для контролю умов зберігання продукції" // SmartAgro. – URL: <http://www.smartagro.com/sensors-storage> (дата звернення: 18.06.2024).

□ Стандарти та нормативні документи:

- ДСТУ 4427-2005. "Продукція плодоовочева. Загальні вимоги до умов зберігання".
- ГОСТ 24444-80. "Технологічні процеси зберігання сільськогосподарської продукції. Основні положення".

Додаток А.

Таблиця А1.1. Специфікація пристрів та обладнання на схемі автоматизації

Символи	Ім'я	Тип	Кількість
2а,3а,4а,5а,6а	Термометр опору з уніфіцираним виходом 4...20мА фірми ТЭРА.	ТСМ-У-1-4-100М-0.5%-2-180-6-Д (-50...50)	5
1а	Кінцевий вимикач	ХСКН2118Р20	1
НЛ1	Неонова лампа в арматурі	ТЛЖ-0.2-0.3	1
2б,3б,4б	Одноканальний мікропроцесорний індикатор. Вхідний сигнал 4...20мА	ІТМ-110	3
5б,6б	Блок ручного керування	БРУ-7	2
5в,6в	Привід з лінійним переміщенням Belimo	NV230A-TPC	2
7SB,8SB,9SB	Кнопка станції «Пуск-Стоп» зі світловою індикацією пуску	РРВВВ-30N	2
7SA,8SA,9SA	Ключ управління «Авт-0-Дист»	ПКП-10	3
10а	Мікропроцесорний контролер настінного виконання фірми МІ-КРОЛ	МІК-52Н-16	1
10б	ІВМ РС сумісний контролер зв'язку	АДАМ-4500	1

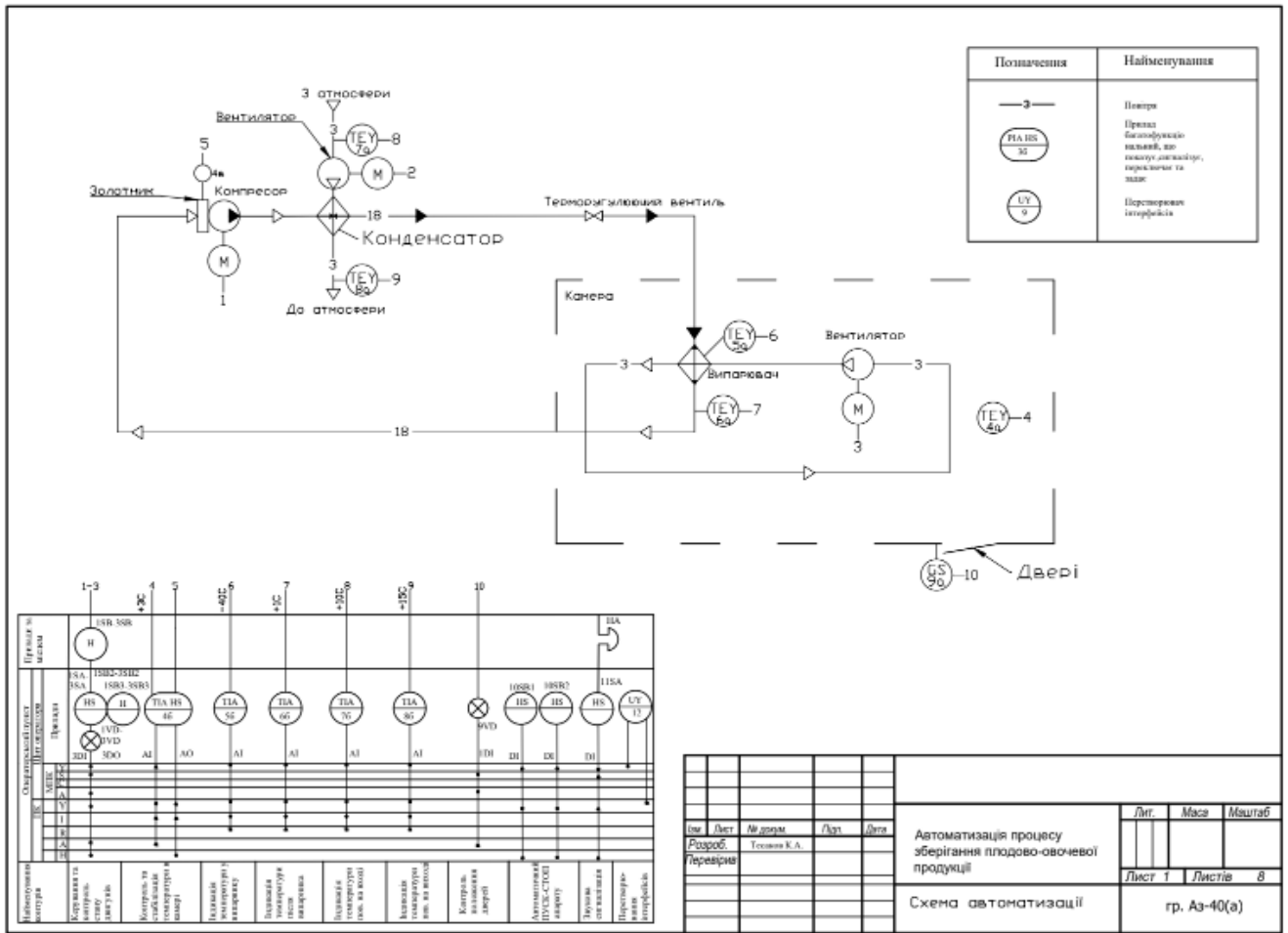
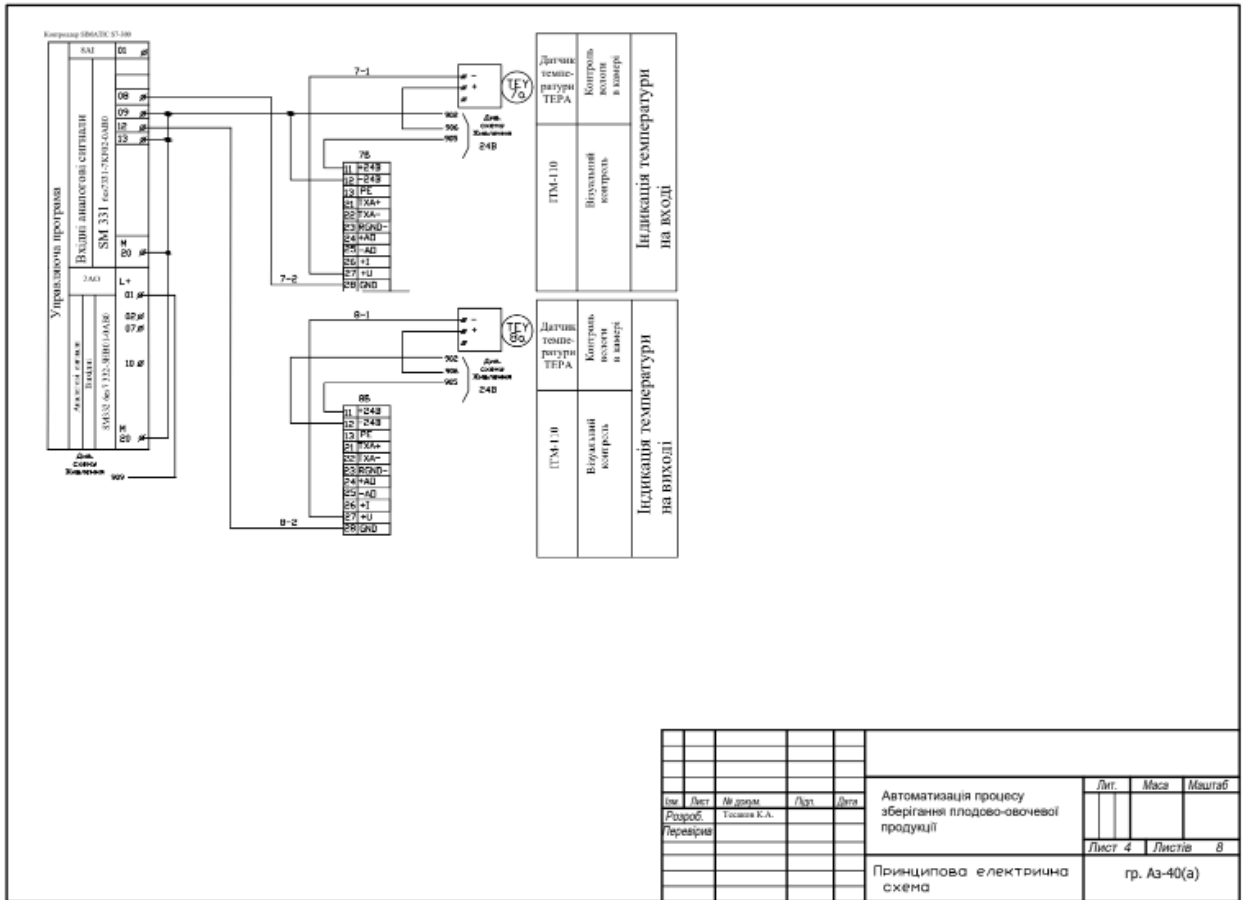


Рис 1.2 – Схема автоматизації

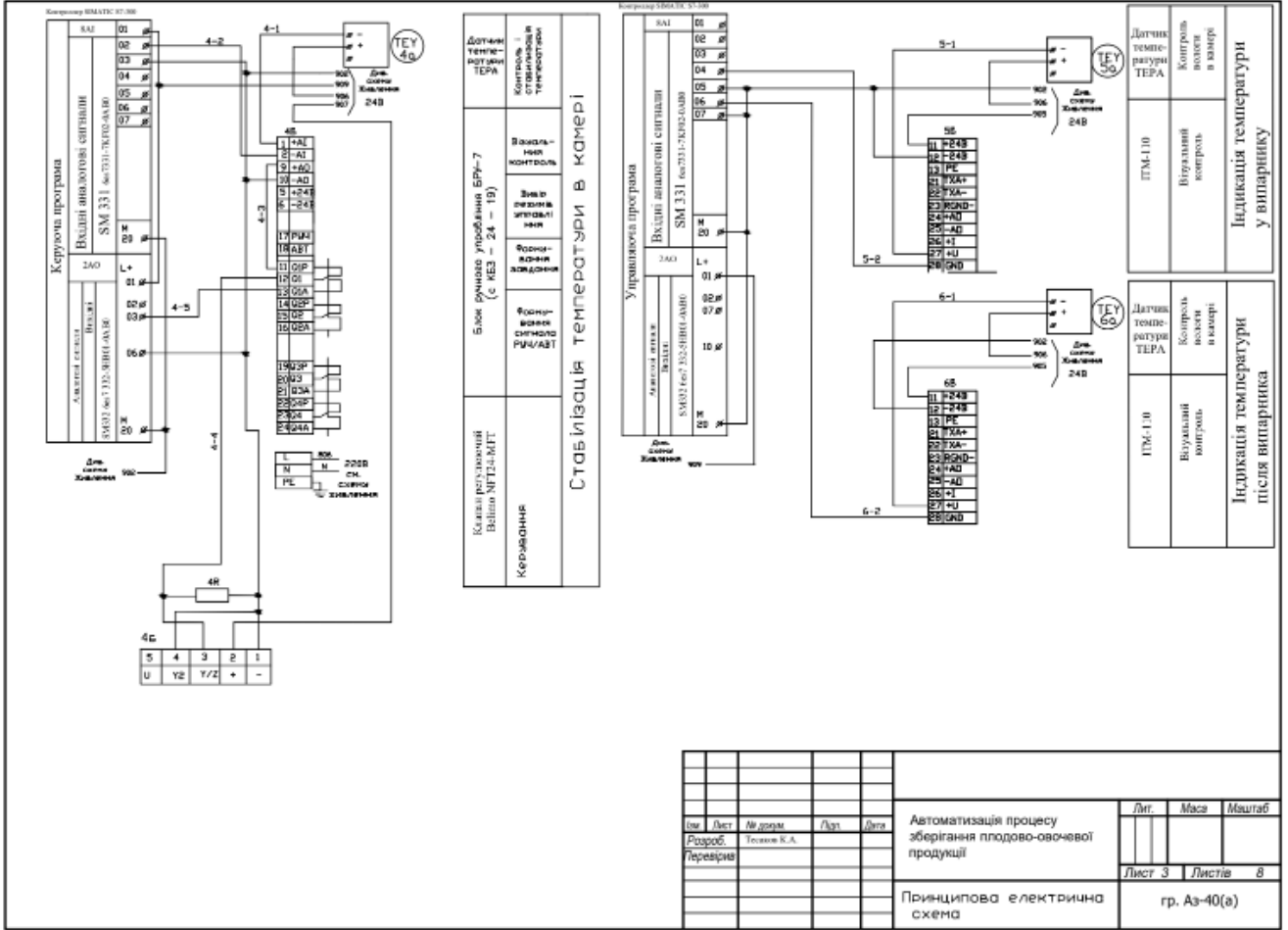
Додаток Б

Принципова електрична схема (лист 1)



Додаток Г

Принципова електрична схема (ліст 3)



Додаток Г

Принципова електрична схема живлення

Щит оператора

Характеристика електричного пристрою

Позиція				4а	5а, 6а, 7а, 8а	МПК					ПК		4а, 7а, 8а	5а, 6а	4а	
	Тип	Увага	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні
Тип	Увага	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні	Внутрішні
Номинальна напруга В.	~220В	~220В	30В	~220-240В	24В	24В	24В	24В	24В	24В	24В	~220-240В	~220-240В	24В	24В	24В
Споживана потужність Вт	1025,28	25	400	8	17,28	120	20	1	3,0	3,0	10	800	500	4,0	3,0	10
Місце Установки	Щит оператора						Операторський пункт					За місцем				

№	Лист	№ докум.	Лист	Дата	Автоматизація процесу зберігання плодово-овочевої продукції	Лист	Маса	Маштаб
Розроб.		Томаш К.А.				Лист 5	Листів 8	
Лектор						Принципова електрична схема живлення		

гр. Аз-40(а)

Додаток Д

Загальний вид щита (ліст 1)

The drawing shows a control panel with a total width of 600mm and a total height of 600mm. The main control area is 300mm wide and 525mm high. Components are arranged in a grid. Labels include: 1 (top center), 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 (various positions). Terminal blocks are labeled 1SA1, 1SB2, 1SB3, 2SA1, 2SB2, 2SB3, 3SA1, 3SB2, 3SB3. Dimensions are given in millimeters.

Номер надписи	Надпись	Количество
1	Контроль положения дверей	1
2	Защит двигателя компрессора	1
3	Защит двигателя вентилятора обдува конденсатора	1
4	Защит двигателя вентилятора обдува испарителя	1
5	Температура и влажность	1
6	Температура и влажность	1
7	Температура после испарителя	1
8	Температура воздуха на входе	1
9	Температура воздуха на выходе	1
10	Авт. ПИСК установками	1
11	Авт. ЗИПИН установками	1
12	Защитный сигнал-Взрыв-Авт.	1
13	Компрессор вент. Дист.-Взрыв-Авт.	1
14	Вентилятор обд. Дист.-Взрыв-Авт.	1
15	Испарительный вент.Дист.-Взрыв-Авт.	1

ПРИМІТКИ
 1. * Розмір для доставки
 2. Щит повинен мати колір білого кольору.
 3. Надписи у рамках виготовлено методом комп'ютерної гравюри.
 4. Щит виготовлено на пластмасі товщиною 1000мм

№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Автоматизация процесса зберігання плодово-овочевої продукції	Лит.	Маса	Маштаб	
Розроб.		Телима К.А.				Лист 6	Листів 8		
Перевіряє						Загальний вид щита гр. АЗ-40(а)			

Додаток Ж

Схема зовнішніх проводок

