

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



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: «Автоматизація процесу керування визріванням сирів в клімат-камері»

Здобувач: Кондратьєв Ю.С.
4 курс, група А-40

Керівник: ст.викл. Ковальчук Д.А.

Консультанти: доцент І.М. Світий
доцент В.М. Левінський

Кваліфікаційна робота допускається до захисту.

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

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

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС

І.М. Світий

« 05 » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Кондратьєв Юлій Сергійович

- Тема роботи «Автоматизація процесу керування визріванням сирів в клімат-камері»
- Керівник кваліфікаційної роботи Ковальчук Дмитро Андрійович, к.т.н., ст. викладач
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 743-03 від 31.12.2025 р.
- Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи на кафедру «12» червня 2026 р.
- Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт, комплексне кваліфікаційне завдання (для заочників).
- Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):
Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.
Розділ 2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів автоматичного регулювання, порівняльний аналіз САК.
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів автоматичного логічного керування технологічною ділянкою.
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.
Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.
Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.
Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.
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	Ковальчук Д.А, ст.викл. каф. АТПіРС		
Розділи 2, 3	Світій І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 4	Світій І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9	Ковальчук Д.А, ст.викл. каф. АТПіРС		

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

номер розділу	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Розділ 1	«24» березня 2026 р.	
Розділ 2	«31» березня 2026 р.	
Розділ 3	«10» квітня 2026 р.	
Розділ 4	«15» квітня 2026 р.	
Розділ 5	«23» квітня 2026 р.	
Розділ 6	«30» квітня 2026 р.	
Розділ 7	«08» травня 2026 р.	
Розділ 8	«22» травня 2026 р.	
Розділ 9	«27» травня 2026 р.	

Здобувач Кондратьєв Ю.С.

Керівник роботи Ковальчук Д.А.

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 _____ Кондратьєв Ю.С. _____
Прізвище, ініціали Підпис

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Кондратьєва Юлія Сергійовича «Автоматизація процесу керування визріванням сирів в клімат-камері» викладена на 170 сторінках, кількість таблиць 35, рисунків – 65, додатків - 3, джерел з переліку посилань - 37.

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 визрівання сирів в клімат-камері.

Мета роботи – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування визрівання сирів, що 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 – розроблено алгоритми керування, які забезпечують підвищену динамічну точність стабілізації регульованих параметрів як у перехідних процесах, так і в усталених режимах функціонування системи автоматичного регулювання. Запропоновано алгоритми запуску та зупинки обладнання, а також створено програмне забезпечення для програмованих логічних контролерів, що реалізує ці алгоритми.

Сформовано інтерфейси автоматизованих робочих місць оператора-технолога та наладчика системи. Крім того, підготовлено окремі розділи технічної документації, що стосуються апаратної частини системи керування.

У роботі проведено дослідження процесу визрівання сирів як об'єкта керування, на основі чого отримано математичні моделі основних каналів впливу та збурюючих факторів. Використовуючи ці моделі, розроблено алгоритми керування процесом у режимах пуску, зупинки, а також при виникненні нештатних ситуацій.

Обґрунтовано вибір комплексу технічних засобів із урахуванням необхідного рівня захисту обладнання. Програмна реалізація алгоритмів виконана для контролера компанії Wago в середовищі CodeSys. Також у SCADA-системі WinCC v8.0 створено програмне забезпечення для автоматизованих робочих місць оператора та наладчика.

У роботі представлено комплект технічної документації системи автоматичного керування, побудованої на базі контролера компанії Siemens.

ЗМІСТ

стор.

Перелік умовних позначень, символів і одиниць.....	9
Вступ.....	10
Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації сак	12
Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів.....	12
Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки тп та технічних засобів, що використовуються для цього.....	19
Аналіз впливу ефективності керування технологічним агрегатом на показники якості продукції, її собівартість. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності при впровадженні модернізованої системи.....	24
Висновки за розділом.....	25
Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу вистоявання сиру, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.....	26
Розробка концептуальної моделі об'єкту регулювання.....	26
Ідентифікація моделей каналів перетворення об'єкта регулювання.....	27
Реалізації моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.....	35
Висновки за розділом.....	42
Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САК.....	44
Конкретизація завдань регулювання для процесу визрівання сирів.....	44
Структурний і параметричний синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності	60
Висновки за розділом.....	68
Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним процесом визрівання сирів	69
Конкретизація задачі логічного керування процесом визрівання сирів.....	69
Формалізація регламентів функціонування за пуском, технологічною та аварійної зупинкою технологічного процесу.....	70
Формалізація регламентів та розробка алгоритмів логічного керування для підсистем зупинки в нештатних ситуаціях.....	71

Реалізація алгоритмів логіко-програмного керування в виді

функціональної логічної схеми.....	76
Імітаційне моделювання роботи алгоритмів логічного керування.....	77
Висновки за розділом.....	81
Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів.....	82
Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення.....	82
Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	88
Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу	93
Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	99
Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.....	102
Висновки за розділом.....	107
Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання сак.....	108
Програмне конфігурування контролера та розробка програмного забезпечення системи керування в середовищі CoDeSys.....	108
Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК	110
Програмна реалізація алгоритмів логічного керування.....	113
Розробка підсистеми взаємодії автоматизованого робочого місця та мережі контролерів за допомогою OPC UA-сервера.....	117
Висновки за розділом.....	121
Розробка scada для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	122
Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога	
Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	122
Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САУ.....	123
Розробка екранів АРМ наладчика САК.....	134
Висновки за розділом.....	137
Розробка фрагментів документації технічного забезпечення сак, включаючи	

питання охорони праці.....	138
Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення.....	138
Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи....	140
Розробка принципів схем.....	142
Розробка схем компонування технічних засобів у щиті або шафі	145
Розробка монтажних схем або таблиць з'єднань у щиті оператора	146
Охорона праці	149
Висновки за розділом	157
Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації проєкту	158
Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації.....	158
Розрахунок поточних витрат при роботі базової та модернізованої системи автоматизації.....	159
Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства.....	164
Висновки.....	166
Перелік джерел	170
Додатки.....	175
Додаток А. Документація до схеми автоматизації... ..	175
Додаток Б. Документація до принципової електричної схеми контролю та керування... ..	177
Додаток В. Документація до принципової електричної схеми живлення... ..	180
Додаток Г. Документація до щита оператора... ..	182
Додаток Д. Документація до схеми зовнішніх проводок... ..	187

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І ОДИНИЦЬ

АК – алгоритм керування;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

АСК ТП – автоматизована система керування технологічним процесом;

ВМ – виконавчий механізм;

ВП – випадковий процес;

ДР – диференційне рівняння;

ІМ – імітаційна модель;

КВ – керуючий вплив;

КП – керуючий пристрій;

ММ – математична модель;

ОК – об'єкт керування;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПК – персональний комп'ютер;

РО – регулюючий орган;

САК – система автоматичного керування;

САР – система автоматичного регулювання.

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку вітчизняна молочна галузь демонструє достатньо високий рівень, проте за окремими показниками все ще поступається провідним світовим стандартам. Забезпечення населення якісною молочною продукцією потребує постійного нарощування обсягів виробництва, розширення асортименту, а також підвищення якості, харчової та біологічної цінності продукції і її смакових характеристик. Важливим завданням є більш раціональне використання сільськогосподарської сировини для отримання повноцінних продуктів, збагачених білками, вітамінами та біологічно активними компонентами.

Досягнення цих цілей можливе шляхом підвищення технічного рівня підприємств, впровадження сучасних технологічних рішень і використання передового обладнання, а також завдяки широкому застосуванню автоматизованих і механізованих виробничих систем.

Ключовими напрямками розвитку технологічних процесів у молочній промисловості є комплексна механізація, перехід до безперервних виробничих схем, використання високопродуктивного обладнання, що сприяє зростанню виходу продукції та покращенню її якості. До такого обладнання належать сучасні стерилізаційні установки, апарати з програмним керуванням, а також фасувально-пакувальні та розливні лінії.

Молоко є одним із найцінніших харчових продуктів, оскільки містить широкий спектр необхідних для організму людини поживних речовин. Серед основних видів продукції, що виготовляються на молокопереробних підприємствах України, провідні позиції займають вершкове масло, різноманітна молочна продукція та тверді сири високої жирності. При цьому тверді сири залишаються одним із найбільш перспективних продуктів, зокрема завдяки стабільному попиту на зовнішніх ринках.

Процес визрівання сирів є одним із визначальних етапів їх виробництва, а ефективність його керування безпосередньо впливає на кінцеву якість продукції. Оптимізація цього процесу може забезпечити суттєвий економічний ефект. Саме тому як об'єкт модернізації обрано систему керування процесом охолодження під час визрівання сирів. Аналіз виробничої діяльності підприємства показав, що вдосконалення цієї ділянки технологічного процесу дозволяє істотно покращити техніко-економічні показники, зокрема за рахунок зменшення втрат від браку.

У роботі проведено дослідження процесу визрівання сирів як об'єкта керування, в результаті чого отримано математичні моделі основних каналів регулювання та зовнішніх збурень. На їх основі розроблено алгоритми керування, що забезпечують високу точність підтримання заданих параметрів, а також реалізують автоматичне логіко-динамічне керування обладнанням у режимах пуску, зупинки та аварійних ситуацій.

Проведене імітаційне моделювання функціонування системи підтвердило ефективність запропонованих рішень і їх працездатність. Обґрунтовано вибір технічних засобів, зокрема сучасного програмованого контролера, обчислювальної техніки та відповідного програмного забезпечення для реалізації системи автоматичного керування.

У середовищі CodeSys розроблено програмний комплекс для реалізації алгоритмів керування на контролері, а в SCADA-системі WinCC v8.0 створено сучасний інтерфейс автоматизованого робочого місця оператора.

Також сформовано комплект технічної документації системи автоматичного керування на базі контролера Wago, що включає основні документи з технічного забезпечення автоматизації процесу визрівання сирів. Окремо розглянуто питання охорони праці при експлуатації даної системи.

Економічна доцільність впровадження розроблених рішень підтверджена відповідними розрахунками, які засвідчили ефективність модернізації системи автоматичного керування.

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. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів

Виробництво твердих сирів є економічно доцільним завдяки тривалому терміну їх зберігання. Такі сири відзначаються щільною структурою та насиченим смаком. Тривалість дозрівання може становити від 2 до 36 місяців, причому зі збільшенням часу витримки смакові властивості стають більш вираженими. На відміну від них, кисломолочні сири дозрівають значно швидше. Технології виробництва м'яких сирів у багатьох аспектах подібні до технологій виготовлення твердих.

Для організації виробництва необхідно передбачити кілька функціональних зон:

- виробниче приміщення;
- відділення заквашування;
- ділянку посолу;
- холодильні камери для зберігання.

Основне виробниче приміщення оснащується варильними ємностями, резервуарами, формувальними столами та пресовим обладнанням. У зоні заквашування встановлюється обладнання для дозування, нагріву, подачі молока та стерилізації. Ділянка посолу включає ванни з розсолем, насосне обладнання та ємності для продукції.

Зберігання готового продукту здійснюється у спеціалізованих камерах із підтриманням стабільних параметрів температури та вологості. Виробничі приміщення повинні відповідати санітарним нормам і бути обладнані системами вентиляції, водопостачання, каналізації та опалення.

Технологія виробництва визначається видом сиру. Кисломолочні сири отримують кислотним або роздільним способом, тоді як тверді — традиційним або з використанням різних режимів другого нагрівання.

Процес виготовлення кисломолочного сиру включає:

- приймання та контроль якості молока;
- очищення;
- сепарацію;
- пастеризацію;
- внесення закваски;
- утворення та обробку згустку;
- пресування;
- охолодження;
- фасування.

Виробництво твердих сирів передбачає:

- оцінку якості сировини;
- очищення та охолодження;
- витримку молока;
- нормалізацію та пастеризацію;
- згортання;
- формування сирної маси;
- пресування;
- дозрівання.

Ключовим етапом є дозрівання, під час якого необхідно забезпечити стабільні параметри середовища. Порушення температурного або вологісного режиму негативно впливає на якість продукції.

Оптимальні умови зберігання:

- тверді сири: $-4...0^{\circ}\text{C}$, вологість $\sim 85\%$;
- кисломолочні: $0...8^{\circ}\text{C}$;
- м'які: $0...6^{\circ}\text{C}$;
- розсільні: близько 8°C ;
- плавлені: $-4...0^{\circ}\text{C}$, вологість до 90% .

Процес дозрівання супроводжується періодичним перевертанням сирів, очищенням поверхні та, за необхідності, парафінуванням.

Повітря для камери дозрівання проходить обробку: змішується, зволожується, охолоджується, після чого підігрівається до необхідної температури і подається вентилятором у робочу зону.

Камера дозрівання являє собою спеціалізоване приміщення продуктивністю до 3 т/добу. Основна задача процесу — забезпечення стабільних умов (приблизно 14°C і 70% вологості).

Основні параметри процесу:

- температура і вологість повітря;
- витрати гарячої та холодної води;
- енергоспоживання вентилятора;
- параметри продукту.

Регламент процесу включає:

- технологічні параметри;
- техніко-економічні показники;
- допустимі відхилення.

Відхилення від нормативів призводять до погіршення якості продукції та збільшення браку.

Головки сиру перевертають один раз на 10 днів. З поверхні потрібно періодично видаляти цвіль і сирний слиз. Після місяця дозрівання сир парафінують, щоб запобігти висиханню.

Продукцію зберігають у дерев'яній тарі. Кожен вид і сорт зберігається окремо від інших. Якщо в ящиках немає спеціальних перегородок, утворюють гнізда для кожної головки. Дно вистилають обгортковим папером. На ящику або на етикетці вказують назву сиру, дату виготовлення, порядковий номер ящика та масу. Для резервування сиру в теплий період року продукт заморожують у блоках або брикетах. Є два методи заморозки: повільний і швидкий. Такий сир може зберігатися замороженим протягом року. Розморозку проводять при температурі 18-29°C.

Зовнішнє повітря змішується з рециркуляційним і направляється до камери зрошення, де осушується і охолоджується при взаємодії з холодною водою, що розпилюється, здобуваючи відносну вологість 100 %. При цьому температура повітря, і, отже, його вологовміст, можуть змінюватися за рахунок кількості холодної води, що подається в камеру зрошення. У калорифері повітря нагрівають до заданої температури приточного повітря камери і вентилятором направляють у зону дозрівання сиру. Технологічна схема процесу наведена на рис. 1.1.

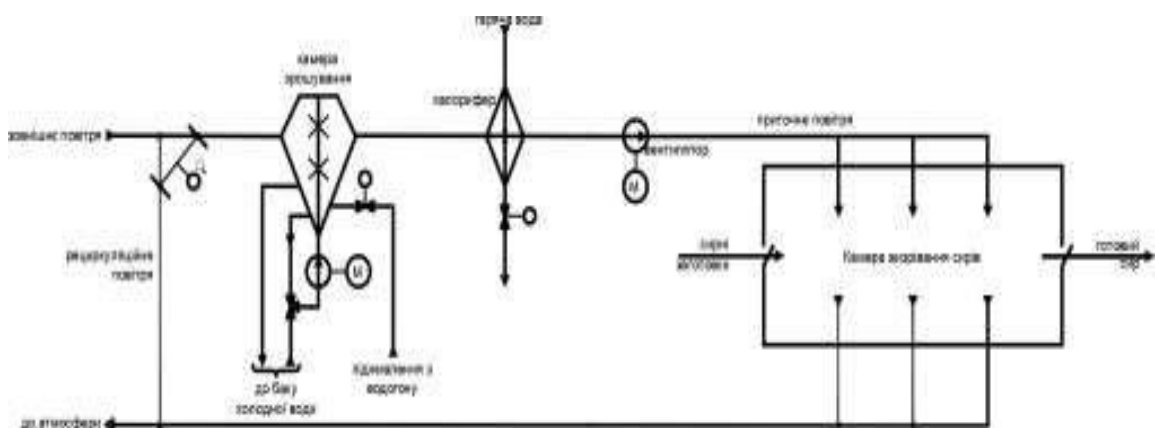


Рис. 1.1 – Технологічна схема процесу визрівання сирів

Камера визрівання сиру фірми Standard Tech є собою велику спеціалізоване приміщення де сир проходить всі етапи вистоювання сиру з продуктивністю 3 т./добу. Повітря в камеру подається вентилятором загальним потужністю 7,5кВт. Габаритні розміри камери : 70мХ36мХ2,5м



Рис. 1.2 – камера визрівання сиру фірми «Standard Tech»

Мета ведення процесу вистоювання сирів – отримання готового продукту при витримці в приміщенні з заданими показниками повітря. 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 вистоювання сирів доцільно реалізовувати, якщо:

- тиск у трубопроводі гарячої води, тиск у трубопроводі води для підпитки 0,2 МПа;
- повинна бути герметичність закриття дверей до камери.

Технологічний процес вистоювання сиру, всією масою 400 кг, є тепловим процесом, пов'язаним з підтримкою тепла та відносної вологості повітря шляхом зрошення в камері зрошування та нагріву в калорифері, підтримкою 14°C і 70% відносної вологості в камері зрошування. Важливою умовою нормального функціонування технологічного процесу є витрати води, що в калорифері та й в камері зрошування. Проведемо параметризацію технологічної схеми. Результати параметризації наведені на рис. 1.1.3.

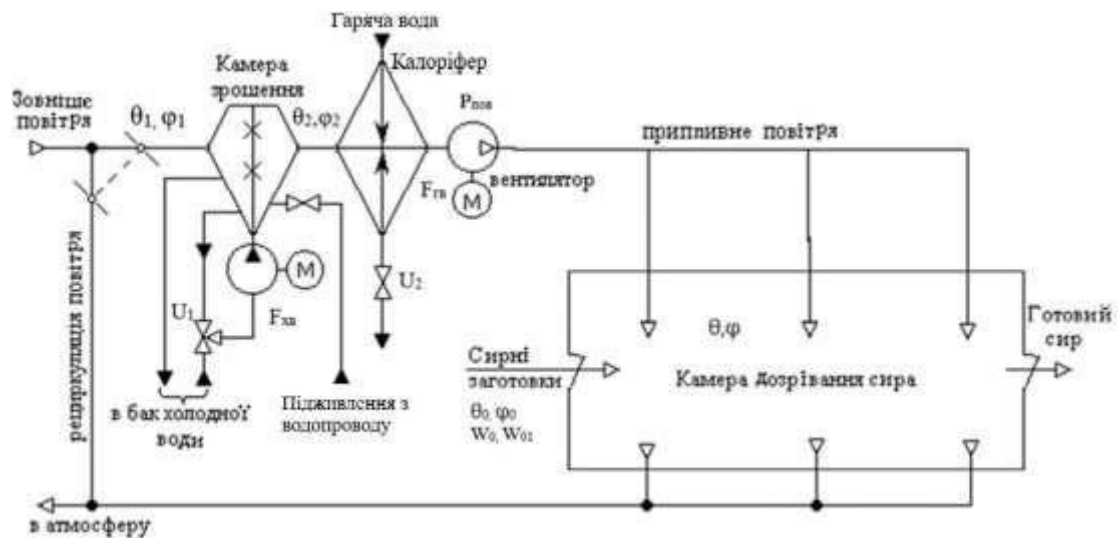


Рис. 1.3 – Параметризована технологічна схема процесу вистоювання сир

Позначення на параметризованій технологічній схемі: θ_1 – температура вхідного повітря; ϕ_1 – відносна вологість вхідного повітря; θ_2 – температура повітря в камері зрошування; ϕ_2 – відносна вологість повітря в камері зрошування; θ – температура повітря в камері визрівання сир; ϕ – відносна вологість повітря в камері визрівання сир; $P_{\text{пов}}$ – витрата електроенергії для вентилятора;

$F_{\text{гв}}$ – витрата гарячої води в калорифер;

$F_{\text{хв}}$ – витрата холодної води в камеру зрошування;

U_2 – положення регулювального органа подачі гарячої води; U_1 – положення регулювального органа подачі холодної води; θ_0 – температура сирних заготовок на вході; ϕ_0 – відносна вологість сирних заготовок на вході; W_0 – маса сирних заготовок, завантажених до камери;

W_{01} – маса однієї сирної заготовки;

Основу нормативів складають три основних регламенти.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті технологічного процесу буде отримано продукт із заданими властивостями. Він

являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу вистоювання сирів таким параметром є температура та відносна вологість повітря в камері зрошування (θ_2 , φ_2 , θ , φ)

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 температуру та відносна вологість повітря в камері зрошування ($F_{гв}$, $F_{хв}$, $P_{пов}$).

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, що викликані зміною параметрів, характеризують умови ведення процесу навіть при досить ефективному керуванні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски. Відхилення температури повітря нижче гранично-припустимих значень може призвести до перенасичення вологи в продукті, а перевищення температури верхнього гранично-припустимого значення може призвести до висушування або навіть пригоряння продукту. В обох випадках порушення регламенту веде до погіршення якості готового продукту і навіть до збільшення виходу браку. Відхилення відносної вологості повітря нижче гранично-припустимих значень може призвести до недостатності вологи в продукті, що порушує технологічний термін визрівання сирів, а перевищення відносної вологості верхнього гранично-припустимого значення може призвести до вицвітання або перемочування продукту. В обох випадках порушення регламенту веде до погіршення якості готового продукту і навіть до збільшення виходу браку.

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

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця	Номінальні значення	Припустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
					Величина	Величина	Час
1	Температура повітря в камері визрівання	θ	°C	14	± 1	± 3	600 с
2	Відносна вологість в камері визрівання	φ	%	70	± 2	± 6	200 с

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

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо параметри сиру (θ_0 , φ_0 , W_0 , W_{01})

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо витрати електроенергії до вентилятора (θ_1 , φ_1).

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо положення регулюючого органів, що дроселює потік гарячої та холодної води (U_1, U_2).

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 пастеризації соку наведена на рис. 1..4.

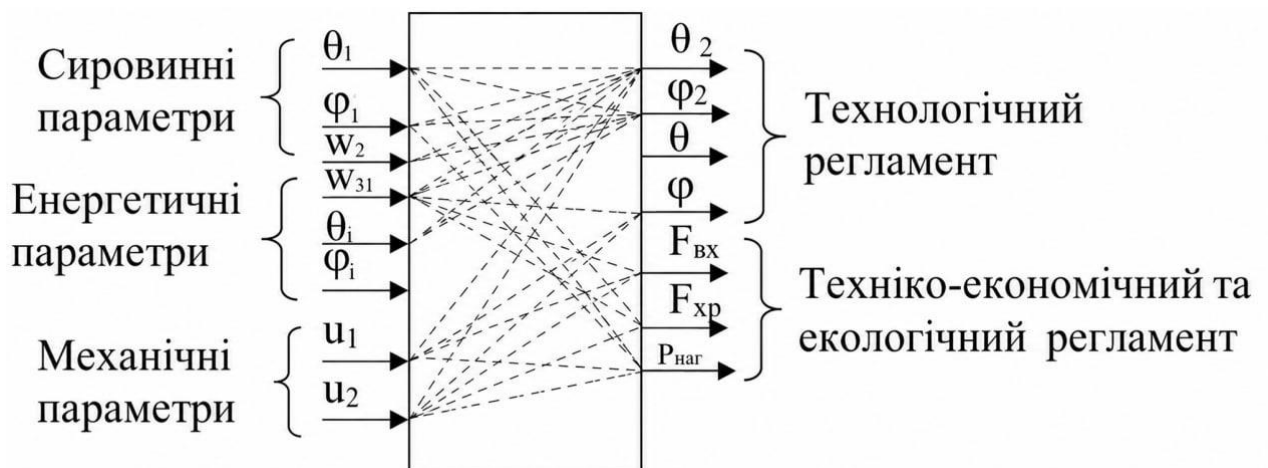


Рис. 1.4 – Параметрична схема процесу вистойки сиру

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

Система керування технологічним процесом має багаторівневу структуру:

- локальний рівень;
- рівень щита КВПіА;
- рівень мікропроцесорного контролера;
- рівень автоматизованого робочого місця оператора.

Контроль параметрів здійснюється за допомогою датчиків температури, вологості та тиску. Інформація відображається на панелі керування та передається до ПК.

Регулювання температури та вологості реалізується за допомогою МПК, який формує керуючі сигнали на виконавчі механізми. Передбачено як автоматичний, так і ручний режими керування.

Для реалізації системи використовуються:

- мікропроцесорний контролер;
- модулі введення/виведення;
- промисловий ПК.

Система забезпечує:

- контроль параметрів;
- сигналізацію;
- регулювання;
- керування виконавчими механізмами.

Складемо таблицю регламентів (Таблиця 1.2), заповнюючи її наведеними вище даними. Об'єднаємо в ній і функції ЗВТ, необхідні для функціонування запропонованих рівнів керування.

Таблиця 1.2 – Регламенти ведення ТП і функції ЗВТ

№ п/п	Найменування параметра	Номинальне значення	Припустиме відхилення	Функції ЗВТ за рівнями управління			
				Місцевий	Цент. КВПиА	МПК	ПК
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Тиск води у водогоні холодної води	0,2МПа		IS	A	Y	A
2	Тиск гарячої води	0,2МПа		IS	A	Y	A
3	Температура зовнішнього повітря	20°C	±1°C	Y	IA		ISA
4	Температура рециркуляційного повітря	25°C	±1°C	Y	IA		ISA
5	Температура змішаного повітря	20°C	±1°C	Y	IA		ISA
6	Температура холодної води у баку	5°C	±1°C	Y	IA		ISA
7	Температура гарячої води	75°C	±1°C	Y	IA		ISA
8	Температура води після камери зрошування	9°C	±1°C	Y	IA		ISRA
9	Відносна вологість повітря в камері	70%	±2%	Y	IAK	YC	IR
10	Температура приточного повітря	14°C	±1°C	Y	IA		IRSA
11	Температура повітря в камері	14°C	±1°C	Y	IYAK	YC	IR
12	Вимкнення приводу насоса				A	Y	SA
13	Вимкнення приводу вентилятора				A	Y	SA
14	Положення засувки	50%	±5%	Y	I	Y	YA

Функції ІВС ділянки дозрівання сирів в сушильній камері наведено на вигляді схеми автоматизації.

Контроль та сигналізацію досягнення мінімального тиску холодної та гарячої води здійснюють показуючі електроконтактні манометри 1а та 2а. Результати контролю відображаються на щиті керування сигнальними лампами HL1, HL2, а також вводяться до ПК, де здійснюється світлова сигналізація наявності мінімальних тисків холодної та гарячої води. В якості приладів 1а та 2а використаємо електроконтактні манометри ДМ2010 Ст.

Контроль температур зовнішнього, рециркуляційного та змішаного повітря, холодної та гарячої води, температури охолодження та підігрівання повітря здійснюють прилади 3б, 6б, 8б, та 11б за сигналами від датчиків температури 3а, 4а, 5а, 6а, 7а, 8а та 11а. Прилади 3б, 6б, 8б, та 11б здійснюють індикацію поточного значення температур, а також сигналізацію мінімально допустимих значень цих параметрів, а також нормування означених сигналів з метою їх введення до ПК. В ПК сигнали температур підлягають індикації та сигналізації. Виходячи з можливого діапазону температур, в якості датчиків доцільно обрати датчики типу ТСМ, а в якості вторинних приладів доцільно використати індикатори лінійки ИТМ фірми Мікрол.

Регулювання температури повітря в камері забезпечує МПК за сигналом від датчика температури 12а типу ТСМ фірми Тера. Для забезпечення можливості регулювання температури в дистанційному режимі використовується прилад 12б, що забезпечує індикацію та сигналізацію регульованої температури, а також можливість формування сигналу керування у дистанційному режимі. Оскільки сигнал керування має бути сформованим на електродвигуновий виконавчий механізм 12в, то в якості приладу 12б доцільно використати блок ручного керування БРУ-5К1 фірми Мікрол.

Регулювання відносної вологості повітря в камері реалізується мікропроцесорним контролером на основі сигналу, що надходить від психрометричного датчика вологості типу ДВ-07 (позиція 9а) з нормуючим

перетворювачем 9б. Для забезпечення можливості дистанційного керування даним параметром застосовується пристрій 9в, який виконує функції відображення поточного значення вологості, сигналізації її граничних значень, а також формування керуючого сигналу. Оскільки цей сигнал подається на електродвигун виконавчого механізму (позиція 9г), як пристрій 9в доцільно використати блок ручного керування типу БРУ-5К1 виробництва «Мікрол».

Керування електроприводами насоса та вентилятора в автоматичному режимі здійснюється за допомогою мікропроцесорного контролера. Керуючі сигнали від МПК через перемикачі режимів «ручний/автоматичний» (позиції 14б, 15б) та магнітні пускачі (14в, 15в) подаються на відповідні електродвигуни. У дистанційному режимі керування реалізується за допомогою пристроїв 14а та 15а. Індикація роботи приводів здійснюється за допомогою сигнальних ламп HL3, HL4, а також відображається на персональному комп'ютері.

Автоматичне керування приводом засувки (позиція 16б) також покладено на мікропроцесорний контролер. Для реалізації дистанційного керування використовується пристрій 16а. Контроль положення регулюючого органу (17б) здійснюється за сигналом датчика положення (17а). У якості засобу керування та індикації доцільно застосувати блок ручного керування БРУ-5К1, вбудований індикатор якого використовується для відображення положення виконавчого механізму.

Зведення засобів вимірювання для розроблюваної ІВС оформимо у вигляді заказної специфікації (Таблиця 1). МПК має мати можливість виконувати функції регулювання і логічного керування. Тому в якості МПК оберемо мікропроцесорний контролер ADAM-5510 фірми Advantech. Для передачі інформації в ПК застосуємо модуль ADAM-4520 18а. Оскільки в схемі використано 10 аналогових вхідних сигналів (AI) інформації в МПК, буде потрібний найбільш близький за числом каналів два 8-канальних модулі аналогового введення типу ADAM-5017. Для введення в МПК 2 дискретних сигналів (DI) , і виведення 8 дискретних сигналів (DO) використаємо 16-

канальний модуль ADAM-5050, який дозволяє вводити до 16 дискретних сигналів (вхідних або вихідних). Надлишковість контролера за входами і виходами складає 6 аналоговий вхід та 6 дискретних сигналів, які можна буде використати у разі розширення системи керування.

В якості ПК доцільно використати промисловий панельний комп'ютер, який може розв'язувати як задачі керування, так і задачі взаємодії через інтерфейс оператора. В якості такого комп'ютера можна використати панельний комп'ютер Advantech PPC-3190 з 19" сенсорним LED РК екраном і 4-х ядерним процесором Intel Atom E3845 з пасивним охолодженням і робочою температурою від -20 до + 60 ° С.

Таблиця 1.3 – Перелік обладнання

№ п/п	Позначення	Найменування, характеристика	Тип	Кількість
1	2	3	4	5
1	1а, 2а	Пружинний манометр, що показує і сигналізує. Шкала 0...1,6МПа, клас точності 1,0	ДМ-2010 Ст	2
2.	3а, 4а, 5а, 6а, 7а, 8а, 11а, 12а	Термометр опору мідний (ТЕРА) конструкції 1-4. Градування 50М, Клас допуску В, діапазон вимірювання – 50...180°С.	ТСМ-1-4-50М-В-D (- 50 ... 180°С)	8
3.	3б	Індикатор технологічний чотириканальний (Мікрол)	ИТМ-4К7	1
4.	6б	Індикатор технологічний двоканальний (Мікрол)	ИТМ-120К7	1

1	2	3	4	5
5.	86, 116	Індикатор технологічний одноканальний (Мікрол)	ИТМ-110	2
6.	14в...17в, 426...466	Блок ручного керування імпульсний	БРУ-5К1	3
7.	HL1, HL2	Світлодіодна лампа (матриця), червона, живлення 200...240В.	AD22DS(LED) 240	2
8.	14а, 15а	Кнопкова станція пуск / стоп із світловим індикатором пуску (HL3, HL4)	PPBB-30N	2
9.	146, 156	Перемикач кулачковий універсальний (на 2 комутованих пари контактів)	ПКУ-3	1
10.	14г...17г, 42в...46в	Сервопривод однообертовий з імпульсним керуванням (BELIMO)	SR230-S	3
11.	27а	Блок перетворення інтерфейсів (ADVANTECH)	ADAM 4520	1
12.		Мікропроцесорний контролер (ADVANTECH)	ADAM 5510	1
13.		Модуль вводу аналогових сигналів (8AI) (ADVANTECH)	ADAM 5017	2
14.		Модуль вводу-виводу дискретних сигналів (16 DI / DO) (ADVANTECH)	ADAM 5050	1
15.		Панельний комп'ютер Advantech з 19" сенсорним LED РК екраном і 4-х ядерним процесором Intel Atom E3845 з пасивним охолодженням і робочою температурою від -20 до + 60 ° С.	PPC-3190	1

1.3. Аналіз впливу ефективності керування технологічним агрегатом на показники якості продукції, її собівартість. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності при впровадженні модернізованої системи

У результаті впровадження модернізованої системи автоматичного керування очікується підвищення якості регулювання технологічних параметрів. Основними джерелами економічної ефективності є зниження частки бракованої продукції завдяки стабілізації процесу дозрівання сирів. Згідно з результатами імітаційного моделювання, застосування модернізованої САК дозволяє зменшити обсяг браку з 0,015 т/год до 0,005 т/год.

Економічний ефект від впровадження системи полягає у підвищенні конкурентоспроможності підприємства та зростанні його прибутковості. Це досягається за рахунок більш точного підтримання регламентованих параметрів технологічного процесу, а також зниження питомих витрат енергоресурсів.

Система керування процесом дозрівання сирів реалізується із застосуванням сучасних технічних і програмних засобів. Вона забезпечує збір та обробку інформації про стан технологічного процесу, а також формування керуючих впливів за допомогою персонального комп'ютера та мікропроцесорного контролера.

Система повинна реалізовувати наступні функції:

а) інформаційні:

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

б) керуючі:

- стабілізація технологічних параметрів;
- вибір режимів керування;
- автоматичне логічне керування агрегатом в штатних та нештатних

ситуаціях.

1.4. Висновки за розділом

У роботі досліджено процес дозрівання сирів як об'єкт автоматизації. Проведено аналіз технології, обладнання та існуючих систем керування.

Показано, що підвищення точності регулювання параметрів дозволяє зменшити втрати продукції та підвищити ефективність виробництва.

Економічною метою роботи є підвищення конкурентоспроможності підприємства і прибутковості підприємства за рахунок підвищення якості регулювання регламентованих змінних та зменшення питомих витрат пари на

тону продукції при впровадженні модернізованої САК. Зменшення браку продукції виконується за рахунок підвищення якості керування процесом визрівання сирів

РОЗДІЛ 2.

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

2.1. Розробка концептуальної моделі об'єкту регулювання

Для процесу вистоювання сиру як регульовані координати доцільно обрати температуру повітря в камері зрошування θ_2 та температуру повітря після калорифера θ_3 . Обов'язковою умовою розв'язання задач автоматичного керування є наявність керуючих впливів, які виступають входними змінними об'єкта керування.

У задачах регулювання такими впливами є дії, що дозволяють цілеспрямовано змінювати параметри матеріальних і енергетичних потоків. До них, зокрема, належать положення регулювальних органів. При цьому кількість керуючих впливів повинна відповідати числу регульованих змінних.

Для даного технологічного процесу як керуючі дії доцільно використати положення регулювальних органів, що змінюють витрату води: на калорифер (u_2) та в камеру зрошування (u_1).

Після визначення керуючих впливів усі інші входні змінні розглядаються як збурення, тобто фактори, зміна яких впливає на перебіг технологічного процесу та режими роботи обладнання.

Для процесу вистоювання сиру виділення контрольованих збурень є недоцільним, тому всі інші входні впливи, окрім керуючих, відносяться до неконтрольованих збурень.

Структурна схема об'єкта керування відображає узагальнену (концептуальну) модель технологічного процесу, яка описує взаємозв'язки між входними та вихідними змінними.

Структурна схема процесу вистоювання сиру наведена на рис. 2.1.

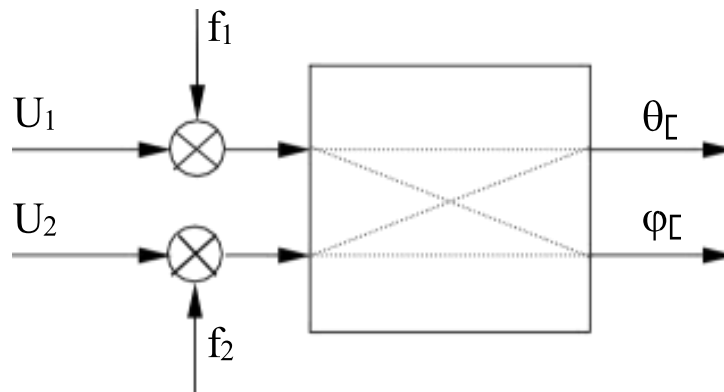


Рис. 2.1 – Координатна схема ОК

2.2. Ідентифікація моделей каналів перетворення об'єкта регулювання

Перед проведенням експериментальних досліджень доцільно, спираючись на апріорну інформацію та фізичну природу об'єкта, виконати попередню оцінку характеристик каналів, математичні моделі яких підлягають подальшій ідентифікації.

Для технологічного процесу вистоювання сиру як за каналом керування, так і за каналом збурення об'єкт керування характеризується властивістю самовирівнювання, що обумовлено його тепловою природою. Зокрема, збільшення керуючого впливу або витрати води в теплообміннику призводить до підвищення температури в камері вистоювання, яка є регульованою координатою.

З огляду на фізичну сутність теплових процесів, їх точний опис можливий за допомогою нелінійних диференціальних рівнянь. Водночас, у робочому (номінальному) режимі функціонування об'єкта зміна температури відбувається у відносно вузькому діапазоні. За таких умов допустимим є використання лінеаризованих моделей, тобто опис процесу за допомогою лінійних диференціальних рівнянь.

Активні експерименти доцільно проводити лише для тих каналів, вхідні змінні яких можуть бути змінені цілеспрямовано. У першу чергу це стосується керуючих впливів. При цьому форма вхідного сигналу може бути різною (ступінчаста, лінійна, імпульсна, гармонічна або випадкова). Однак з урахуванням простоти реалізації, а також мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробку результатів, доцільно застосовувати ступінчасті впливи.

План проведення активного експерименту:

Спочатку шляхом зміни керуючого впливу забезпечується режим роботи об'єкта, при якому регульована координата знаходиться поблизу свого номінального значення. Для даного об'єкта керування при значенні $u_1 = 50\%$ ходу регулюючого органа відносна вологість становить близько 70% , а при $u_2 = 50\%$ — температура повітря досягає приблизно 14°C .

Після цього необхідно дочекатися завершення перехідного процесу та встановлення сталого режиму, за якого вихідна змінна перестає змінюватися в часі.

Далі керуючий вплив u_1 змінюється ступінчасто на величину 10% ходу регулюючого органа з фіксацією моменту внесення збурення.

Після внесення впливу здійснюється реєстрація зміни вихідної координати до досягнення нового сталого стану. При цьому реєстрація вхідного сигналу не є обов'язковою.

Отримані експериментальні дані використовуються для побудови перехідних характеристик (рис. 2.1).

Після завершення експерименту керуючий вплив повертається до початкового значення, після чого очікується завершення перехідного процесу.

Змінимо другу керуючу дію U_2 ступінчним чином на 10% х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни

Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів вхідну дію а в такому разі можна не реєструвати.

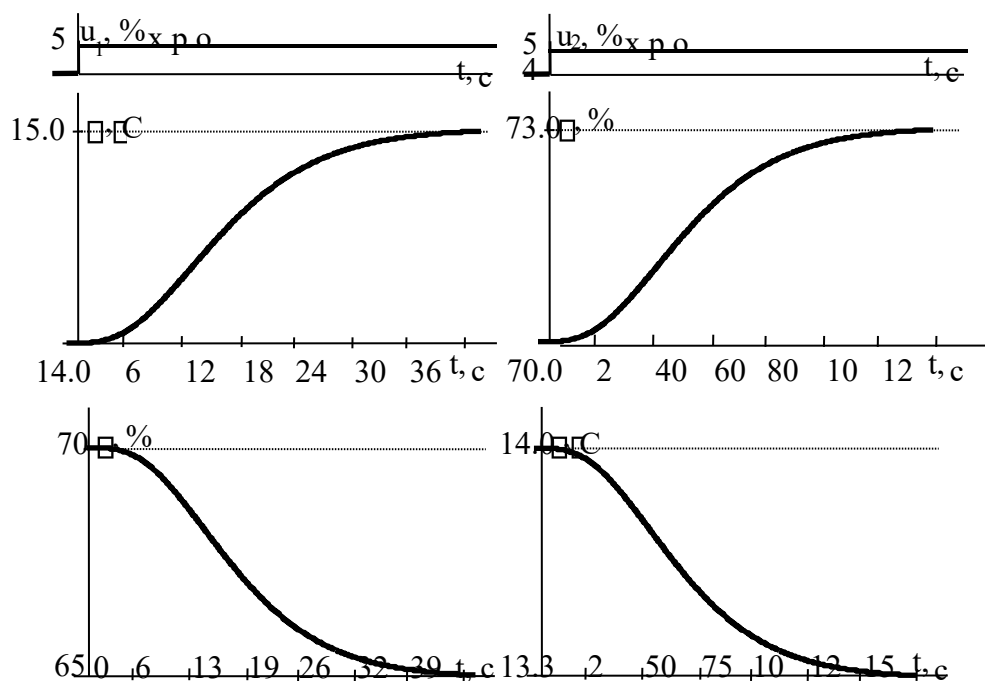


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту

За результатами активного експерименту (рис. 2.1) можна зробити висновок, що канал управління нашого ОК має властивість самовирівнювання, а значить його модель може бути описана передаточними функціями: першого та другого порядку:

$$WW_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad WW_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2}$$

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

Для ідентифікації сталої часу (T_0) та часу запізнення (τ_0) як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики «двох загальних точок».

Коефіцієнт передачі каналу « $u_1 - \theta$ » визначаємо за формулою:

$$K_{\text{нагр}} = \frac{\Delta \theta}{\Delta U U_1} = \frac{15 - 14}{50 - 40} = 0.1 \text{ } ^\circ\text{C} \% \text{х. р. о.}$$

Для моделі 1-го порядку каналу « $u_2 - \theta$ »

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.2), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$. $t_{0,33} = 120$ с.; $t_{0,7} = 195$ с.

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 120 - 195) = 82,5 \text{ с.}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (195 - 82,5) / 1,2 = 93,75 \text{ с.}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку каналу « $u_2 - \theta$ » буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-82,5p}}{93,75p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку каналу « $u_1 - \theta$ » Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.2), знаходимо $t_{0,19}$ $t_{0,19} = 90,85$ с.

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 90,85 - 195) = 38,8 \text{ с.}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (195 - 38,77) / 2,4 = 65 \text{ с.}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку каналу « $u_2 - \theta$ » буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-38,77p}}{(65p + 1)^2}$$

Коефіцієнт передачі каналу « $u_1 - \theta$ » визначаємо за формулою:

$$K_{\text{охл}} = \frac{\Delta \theta}{\Delta U U} = \frac{13,3 - 14}{50 - 40} = -0.07 \text{ } ^\circ\text{C} \% \text{х. р. о.}$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$. $t_{0,33} = 43,44$ с.; $t_{0,7} = 74,44$ с.

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 43,44 - 74,44) = 27,9 \text{ с.}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (74,44 - 27,94) / 1,2 = 38,8 \text{ с.}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку каналу « $u_1 - \theta$ » буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0,07 \cdot e^{-27,94p}}{38,75p+1}$$

Для моделі 2-го порядку каналу « $u_1 - \theta$ » Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо $t_{0,19}$ $t_{0,19} = 33 \text{ с.}$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 33 - 74,44) = 12,3 \text{ с.}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (74,44 - 12,28) / 2,4 = 25,9 \text{ с.}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку каналу « $u_1 - \theta$ » буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0,07 \cdot e^{-12,28p}}{(25,9p+1)^2}$$

Коефіцієнт передачі каналу « $u_1 - \varphi$ » визначаємо за формулою:

$$K_{\text{нагр}} = \frac{\Delta \varphi}{\Delta U U_1} = \frac{65 - 70}{50 - 40} = -0,5 \% / \% \text{х. р. о.}$$

Для моделі 1-го порядку каналу « $u_2 - \varphi$ »

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.2), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$. $t_{0,33} = 133,8 \text{ с.};$
 $t_{0,7} = 219 \text{ с.}$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 133,8 - 219) = 91,2 \text{ с.}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (219 - 91,2) / 1,2 = 106,5 \text{ с.}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку каналу « $u_1 - \varphi$ » буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0,5 \cdot e^{-91,2p}}{106,5p+1}$$

Для моделі 2-го порядку каналу « $u_1 - \varphi$ »

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо $t_{0,19}$ $t_{0,19} = 103,5 \text{ с.}$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 103,5 - 219) = 45,7 \text{ с.}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (219 - 45,7) / 2,4 = 72,2 \text{ с.}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку каналу « $u_1 - \varphi$ » буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0,5 \cdot e^{-45,7p}}{(72,2p+1)^2}$$

Коефіцієнт передачі каналу « $u_2 - \varphi$ » визначаємо за формулою:

$$K_{\text{нагр}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta U U_1} = \frac{73 - 70}{50 - 40} = 0.3 \text{ \%/\%x.p.o.}$$

Для моделі 1-го порядку каналу « $u_2 - \varphi$ »

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.2), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 34,8; t_{0,7} = 59,8$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 34,8 - 59,8) = 22,3 \text{ с.}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (59,8 - 22,3) / 1,2 = 31,3 \text{ с.}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку каналу « $u_2 - \varphi$ » буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-22,3p}}{31,3p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку каналу « $u_2 - \varphi$ »

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо $t_{0,19}$ $t_{0,19} = 26 \text{ с.}$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 26 - 59,8) = 9,1 \text{ с.}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (59,8 - 9,1) / 2,4 = 21,2 \text{ с.}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку каналу « $u_2 - \varphi$ » буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-9,1p}}{(21,2p + 1)^2}$$

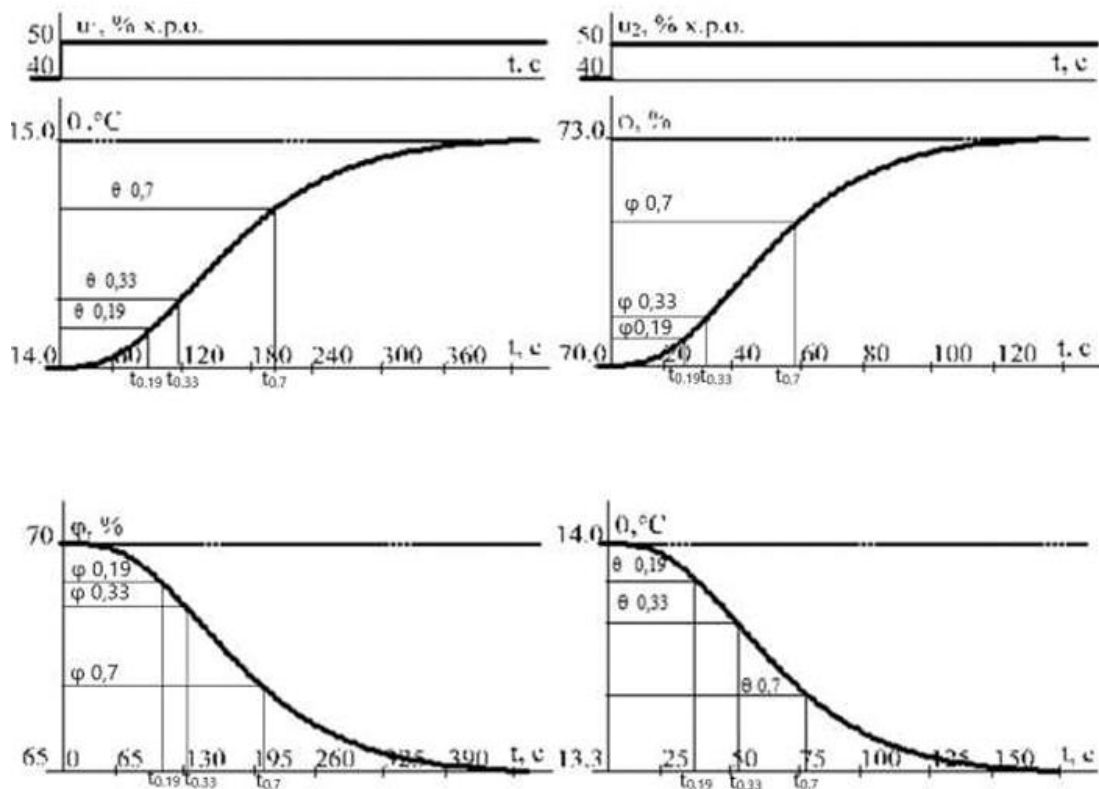


Рис 2.3 параметрична ідентифікація всіх каналів

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

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

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

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

Експерименти для отримання математичних моделей статичної системи можуть бути пасивними або активними (як і при отриманні моделей динаміки). Для отримання моделей статичної системи у нашому випадку будемо використовувати активний експеримент.

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

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

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

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

Г. Послідовність зміни факторів особливо при їх великій кількості доцільно вибрати такою, щоб рандомизувати експеримент, тобто додати випадкові властивості ходу експерименту. Це можна зробити за рахунок запланованої заздалегідь випадкової зміни послідовності зміни факторів і, можливо, величин їх збільшень. Така організація експерименту дозволить "не

пропустити” особливостей властивостей об’єкту, що при однакових з’єднаннях факторів при повторях можуть не виявитися. У найпростіших випадках можна використовувати і регулярні плани.

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.2 і на рис. 2.5.

Таблиця 2.1 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

№ експерименту	u ₁ , %х.р.о.	u ₂ , %х.р.о.	φ, %	Θ, °С
1	40	40	70	14
2	50	40	65	15
3	40	50	73	13.3

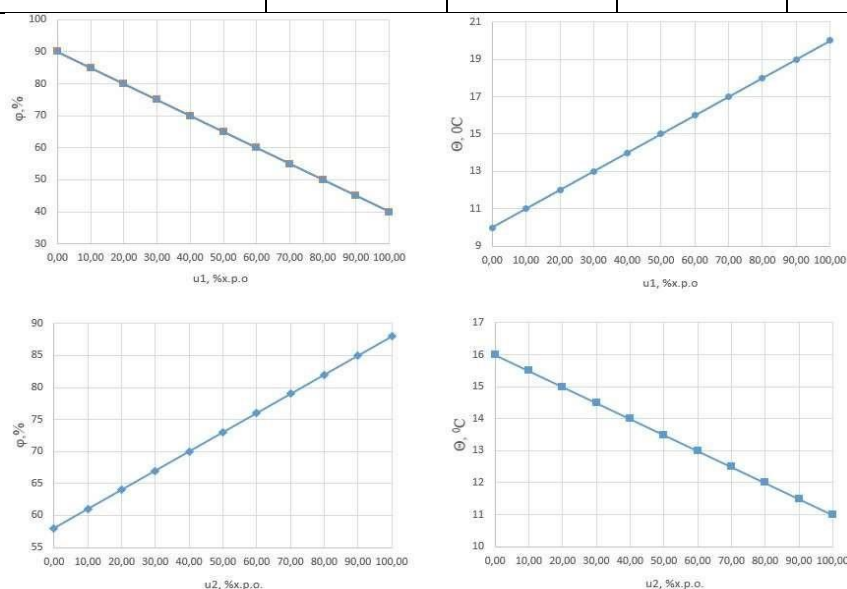


Рис. 2.4 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(x)$. 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 поверів 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 a^* вибраної моделі, що забезпечував би мінімальну суму квадратів розходження між значеннями вихідної змінної об’єкта y ,

отриманих у результаті експерименту y_i , $i = 1, nn$ при значеннях вхідних змінних xx^i , і вихідної змінної моделі об'єкту y_m , обчисленої при тих же значеннях xx^i , тобто

$$\vec{a}^* = II(\vec{a}) = \sum^n (y y (xx^i) - y y (\vec{a}, xx^i))$$

Для досліджуваного ОК, як видно з рис. 2.6, статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$$\theta = a_1 \cdot u_1 + a_2 \cdot u_2 + a_0 \text{ а також } \varphi = b_1 \cdot u_1 + b_2 \cdot u_2 + b_0 \quad a_1 = 0,1^\circ\text{C}/\% \text{ х.р.о. } a_2 = -0,5^\circ\text{C}/\% \text{ х.р.о. } b_1 = -0,5^\circ\text{C}/\% \text{ х.р.о. } b_2 = 0,3^\circ\text{C}/\% \text{ х.р.о.}$$

$$a_0 = \theta - a_1 \cdot u_1 - a_2 \cdot u_2 = 14 - 0,1 \cdot 40 + 0,07 \cdot 40 = 14 - 4 + 2,8 = 12,8^\circ\text{C} \quad b_0 = \varphi - b_1 \cdot u_1 - b_2 \cdot u_2 = 70 + 0,5 \cdot 40 - 0,3 \cdot 40 = 70 + 20 - 12 = 78\%$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК буде описана залежністю: $\theta = 0,1 \cdot u_1 - 0,07 \cdot u_2 + 12,8$
 $\varphi = -0,5 \cdot u_1 + 0,3 \cdot u_2 + 78$

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

Передаточна функція моделі 1-го порядку « $u_1 - \theta$ » має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-82,5p}}{93,75p+1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку « $u_1 - \theta$ » має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-38,77p}}{(65p+1)^2}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку « $u_2 - \theta$ » має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0,07 \cdot e^{-27,94p}}{38,75p+1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку « $u_2 - \theta$ » має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0,07 \cdot e^{-12,28p}}{(25,9p+1)^2}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку « $u_1 - \varphi$ » має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0,5 \cdot e^{-91,2p}}{106,5p+1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку « $u_1 - \varphi$ » має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-0,5 \cdot e^{-45,7p}}{(72,2p+1)^2}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку « $u_2 - \varphi$ » має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-22,3p}}{31,3p+1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку « $u_2 - \varphi$ » має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-9,1p}}{(21,2p+1)^2}$$

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

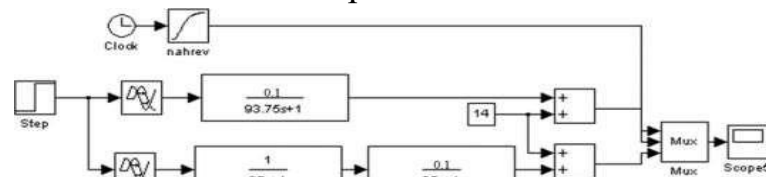


Рис. 2.5 – Схема моделювання каналу « $u_1 - \theta_4$ » управління

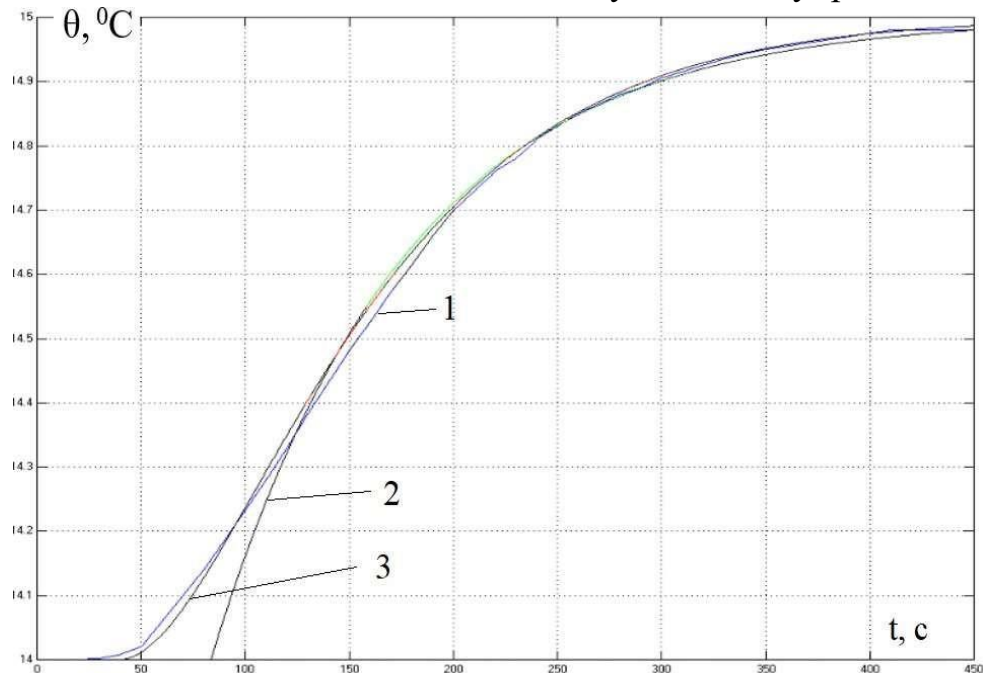


Рис. 2.6 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_1 - \theta$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 2-го порядку; 3 – модель 1-го порядку

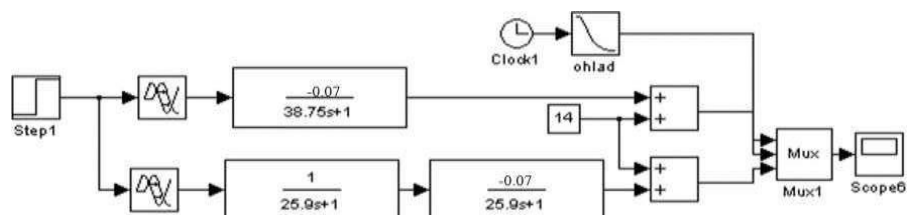


Рис. 2.7– Схема моделювання каналу « $u_2 - \theta$ » управління

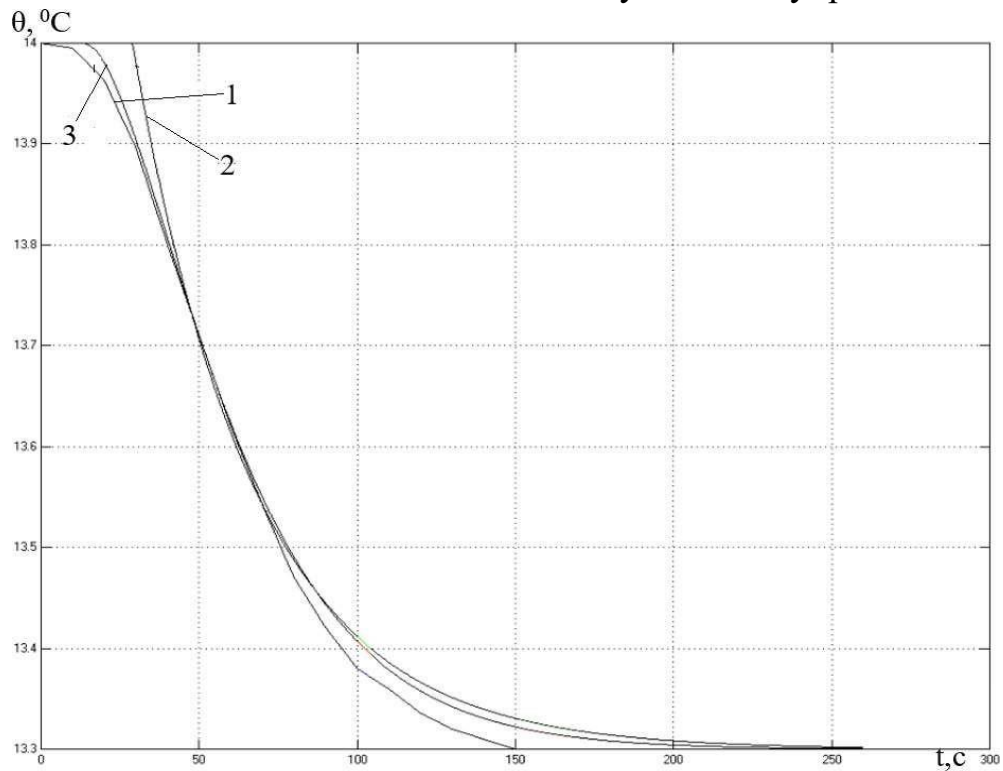


Рис. 2.8 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_2 - \theta$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

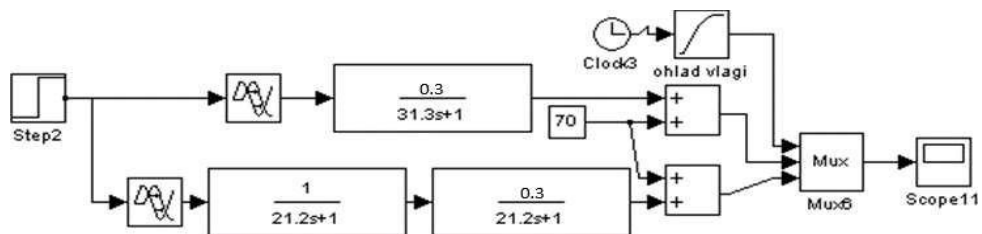


Рис. 2.9 – Схема моделювання каналу « $u_2 - \phi$ » управління

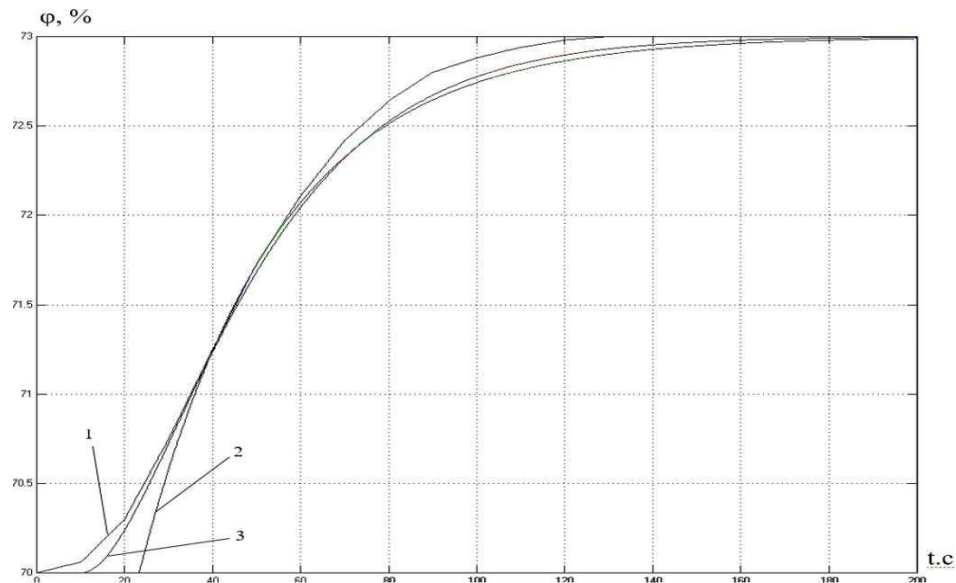


Рис. 2.10 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_2 - \theta$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 2-го порядку; 3 – модель 1-го порядку

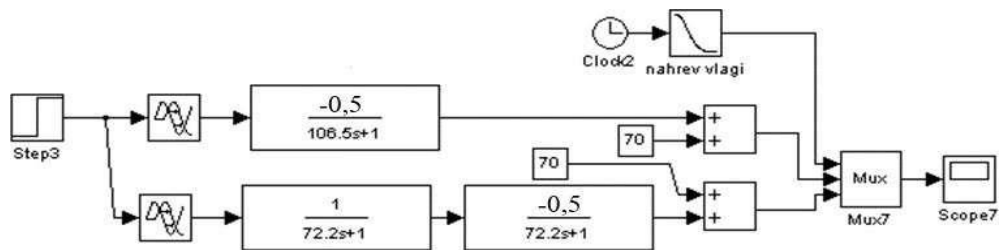


Рис. 2.11 – Схема моделювання каналу « $u_1 - \phi$ » управління

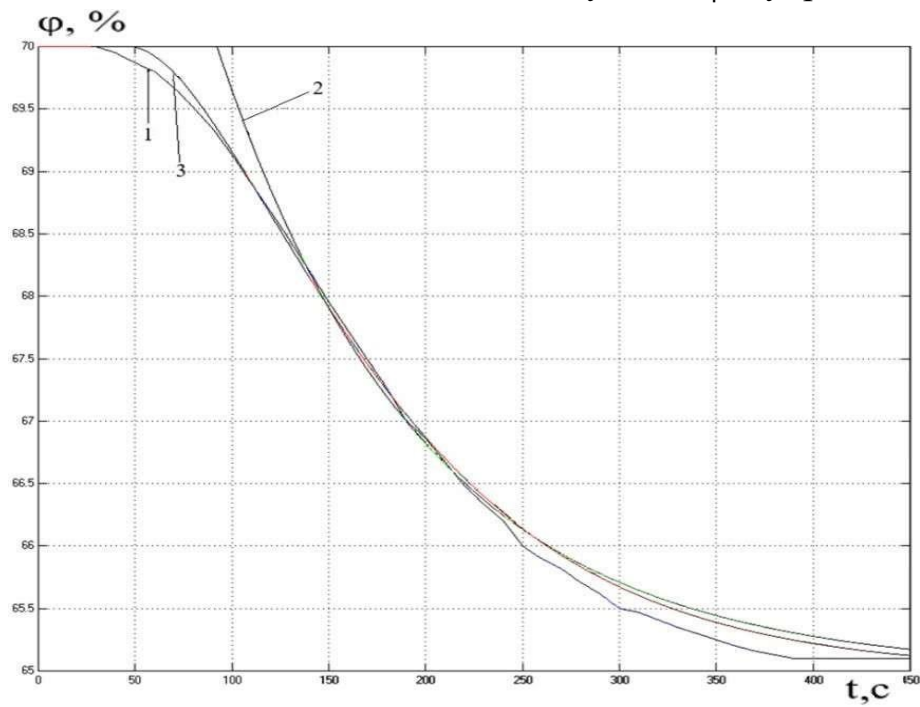


Рис. 2.12– Результати моделювання ОК по каналу « $u_2 - \phi$ »: 2 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Модель статичної характеристики:

$$\theta = 0,1 \cdot u_1 + 0,07 \cdot u_2 + 12,8$$

$$\varphi = -0,5 \cdot u_1 + 0,3 \cdot u_2 + 78$$

Для виконання цього розділу роботи скористаємося можливостями додатка MS Excel. Експериментальні дані для перевірки моделі статички наведені в таблиці 2.1, результати розрахунків зведені в таблицю 2.2 та на рис. 2.15. Як видно з таблиці та рисунку, результати моделювання достатньо точно повторюють експериментальні дані, а, отже, модель є правильною.

Таблиця 2.2 Результати розрахунку моделей статички

№ експерименту	u_1 , %х.р.о.	u_2 , %х.р.о.	φ , %	Θ , °C	Модель θ , °C	Модель φ , %
1	40	40	70	14	14	70
2	50	40	65	15	15	65
3	40	50	73	13	13	73

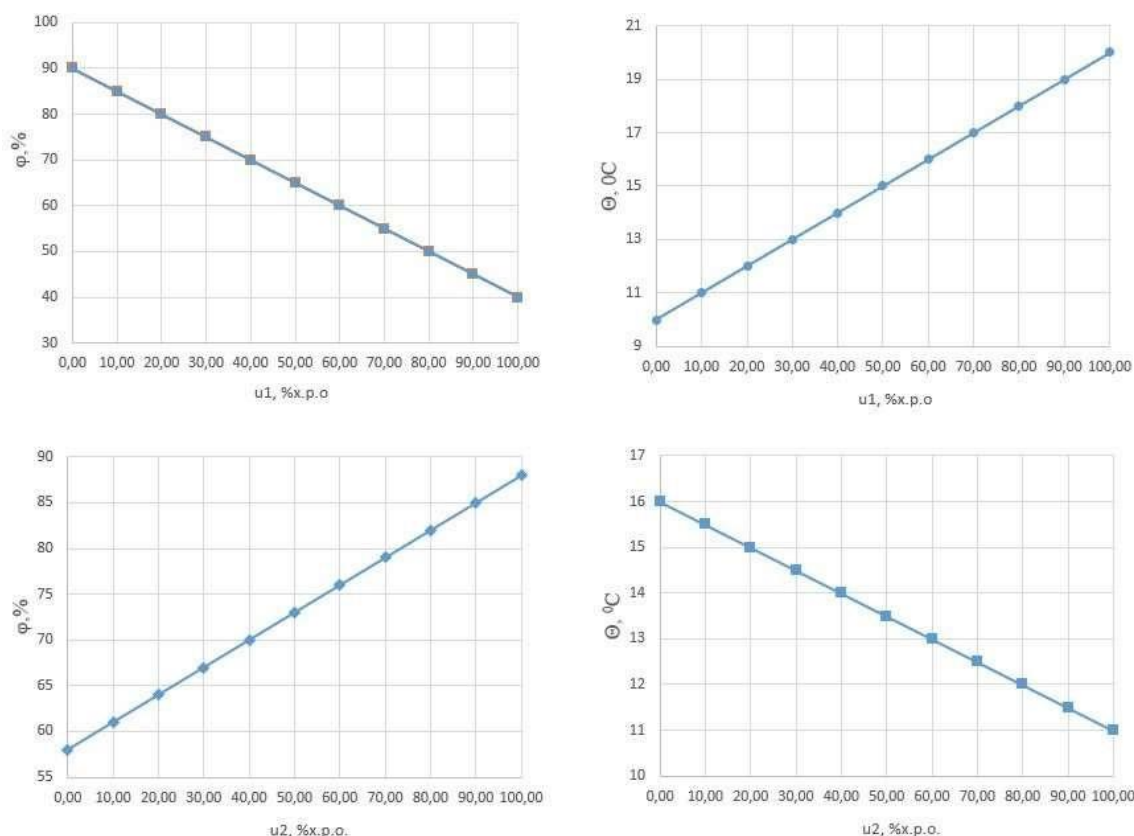


Рис. 2.13 – Результати розрахунку моделей статички

Для реалізації повної моделі ОК об'єднаємо моделі динаміки і статик каналів ОК. Схема моделювання в середовищі Матлаб, що відображує модель ОК, наведена на рис. 2.16, а результати моделювання – на рис. 2.17.

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

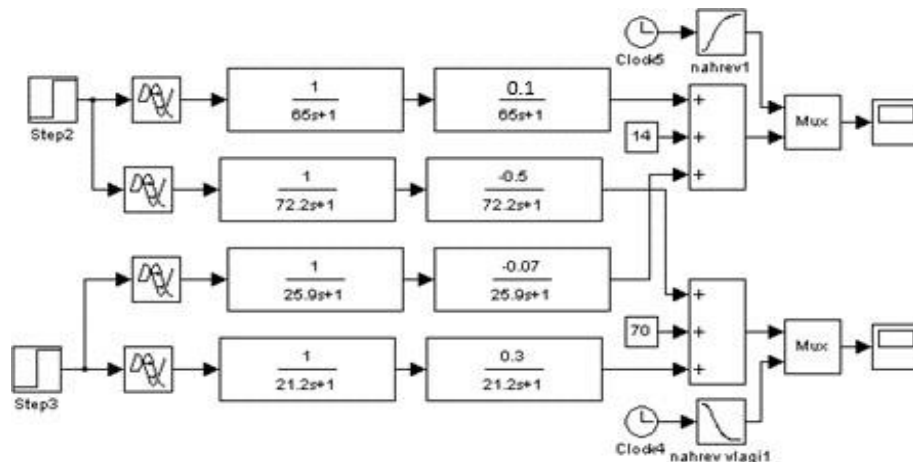


Рис. 2.14 – Схема моделювання

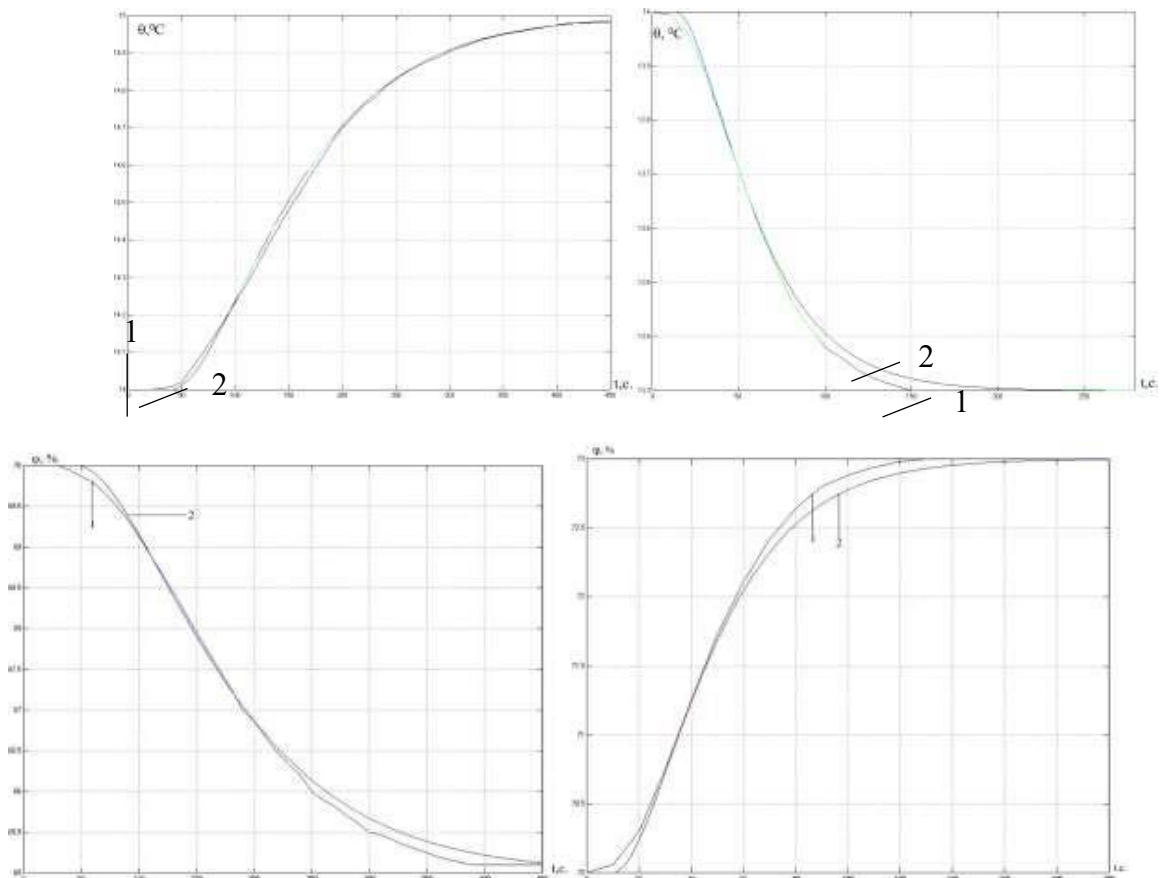


Рис. 2.15 – Приклад правильно виконаного відтворення повної моделі каналів ОК: 1 – експериментальні дані; 2 – модель.

2.4 Висновки за розділом

В результаті виконання цього розділу була проведена ідентифікація процесу вистоювання сиру, як об'єкта керування. Було проідентифіковано модель каналу, в результаті чого було з'ясовано, що канали керування ОК має статичні властивості, тобто властивості самовирівнювання. Це пов'язано з тим, що в процесі вистоювання сиру протікають процеси, які за своєю природою мають такі властивості. При складанні структурної схеми моделювання та її реалізації було отримано результати (перехідні характеристики), які достатньо точно відтворюють експериментальні дані, що свідчить про правильність проведення процедури ідентифікації моделі каналу ОК.

РОЗДІЛ 3.

Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР

3.1. Конкретизація завдань регулювання для процесу визрівання сирів

Загальною метою системи керування є вплив на матеріальні та енергетичні потоки з метою забезпечення необхідних властивостей кінцевого продукту відповідно до заданих вимог щодо якості.

Виходячи із цієї загальної мети, можна виділити основні задачі керування:

- підтримання значення вихідної координати об'єкта керування (θ_4) на заданому рівні ($\theta_{4\text{зад}}$) — задача регулювання;
- пристосування об'єкта керування до зміни його властивостей у процесі роботи — задача адаптації;
- забезпечення найбільш ефективних режимів функціонування — задача оптимізації;
- реалізація операцій пуску, зупинки та дій в аварійних ситуаціях — задача логічного керування.

Автоматизація кожної з наведених задач є необхідною та доцільною.

Для задачі регулювання автоматизація дозволяє забезпечити підтримання заданого значення регульованої змінної в заданих межах точності без безпосередньої участі оператора. У процесі вистоювання сиру ключовим параметром є температура в камері, яку необхідно стабілізувати на заданому рівні.

Задача адаптації полягає у врахуванні змін властивостей об'єкта керування під час його роботи. Досліджуваний технологічний процес є процесом неперервної дії, при якому властивості продукту впливають на динаміку об'єкта. Водночас ці зміни відбуваються повільно, тому їх компенсацію доцільно здійснювати шляхом коригування параметрів регуляторів у процесі експлуатації.

Задача оптимізації спрямована на забезпечення найбільш раціонального перебігу процесу, що передбачає зниження енергетичних витрат, зменшення обсягу браку та підвищення продуктивності обладнання. Для процесу вистоювання сиру досягнення цих цілей можливе за рахунок підвищення якості регулювання технологічних параметрів. Одним із основних факторів підвищення економічної ефективності є зменшення витрат води, що використовується в процесі.

Процес вистоювання сиру характеризується тривалим стаціонарним режимом роботи, який досягається після запуску установки. Режимом пуску та

зупинки є менш ефективними з економічної точки зору, тому їх автоматизація дозволяє підвищити загальну ефективність функціонування системи. У зв'язку з цим важливою є реалізація задач логічного керування.

Відповідно до технологічних нормативів температура вистоювання сиру θ_4 повинна підтримуватися на рівні $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ з допустимим довготривалим відхиленням $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Короткочасні відхилення можуть досягати $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, але не повинні перевищувати тривалість 600 с. Відносна вологість у камері має становити 70% із допустимим відхиленням $\pm 2\%$, при цьому короткочасні відхилення до $\pm 6\%$ допускаються не більше ніж на 200 с. Області допустимих відхилень для зазначених параметрів наведені на рисунках 3.1 та 3.2.

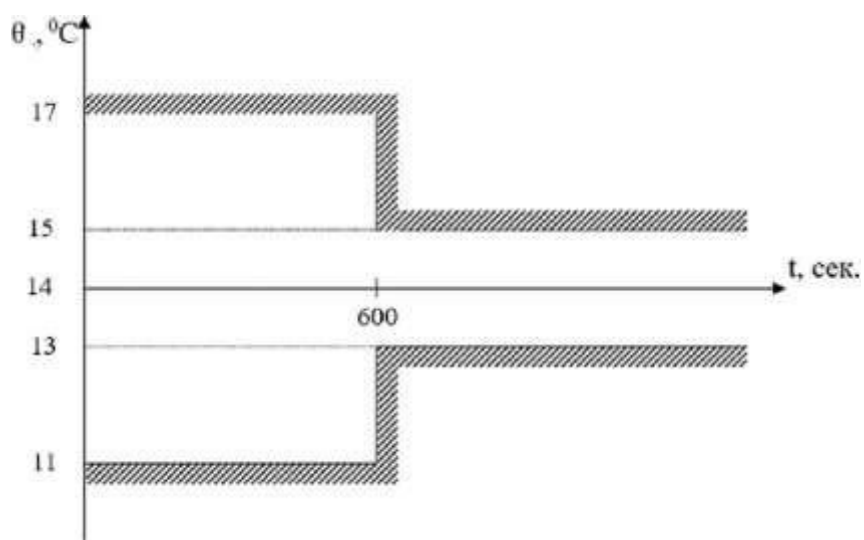


Рис. 3.1 – Регламентна зона для температури вистоювання сиру θ

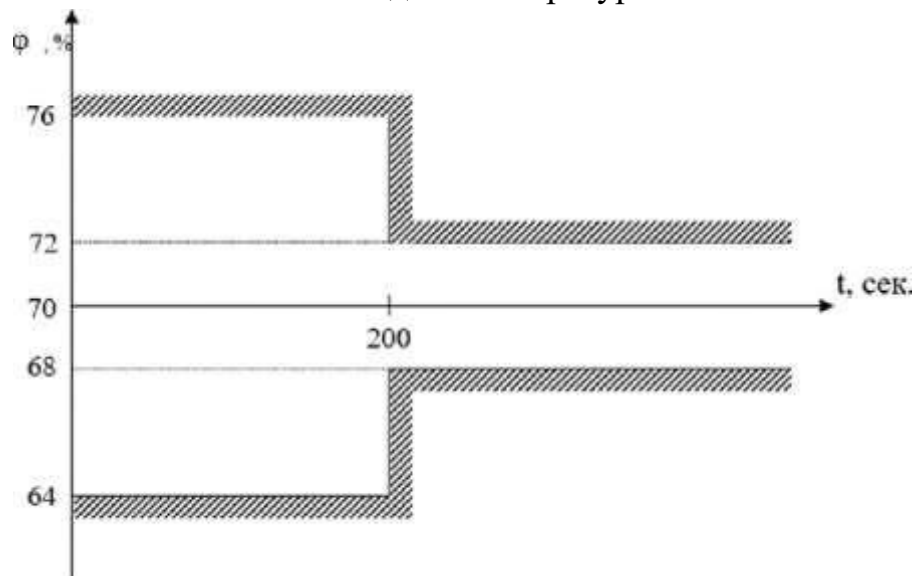


Рис. 3.2 – Регламентна зона для відносної вологості сиру φ

Як видно з регламентів на САР для процесу вистоювання сиру особливо жорсткі вимоги пред'являються до короткочасних відхилень, так як саме недотримання цих регламентів може призвести до браку готової продукції і суттєвих економічних збитків. При цьому малі відхилення регламентуються дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний квадратичний критерій, сильно штрафуючи більші відхилення. Тому ефективність роботи САР температури і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J_2 = \int_0^{t_M} \left(\frac{(\Delta\Delta\theta(t))^2}{3} + \frac{(\Delta\Delta\varphi(t))^2}{6} \right) dt$$

де t_M – час моделювання;

$\theta(t)$ – помилка регулювання температури в камері.

$\varphi(t)$ – помилка регулювання відносної вологості в камері.

Основу керування становить інформація про мету керування або про бажаний стан ОУ $\bar{y}^*$, про поточний стан ОУ $\bar{y}$ та про збурення ff . 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 пастеризації соку доступною, крім інформації про бажаний стан ОК ($\theta_4^{здн}$), є інформація про поточний стан ОК (θ_2). 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 температури пастеризації базової структури. Структурна схема цього принципу управління приведена на рис. 3.3.

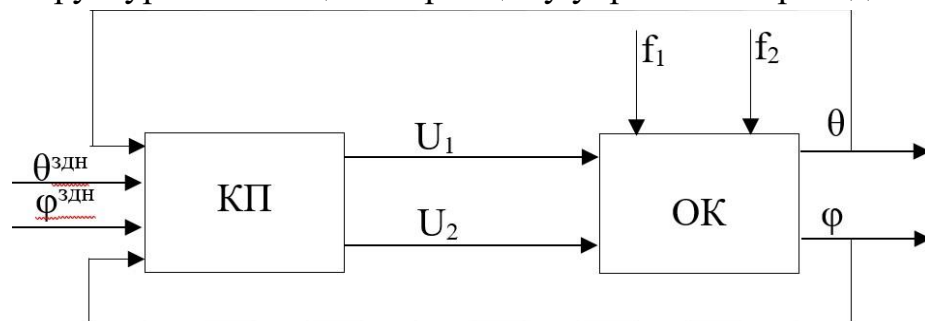


Рис. 3.3 – Структурна схема системи керування, що відповідає замкнутому принципу керування

Структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.4.

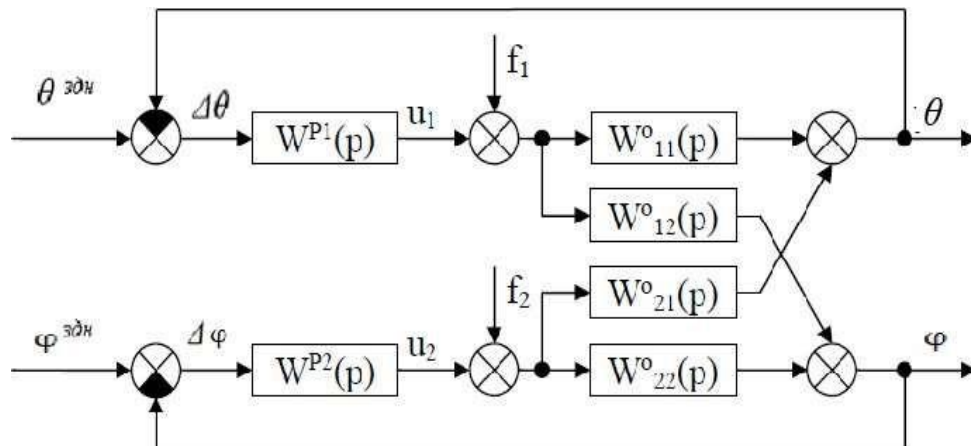


Рис. 3.4 – Структурна схема САР вистоювання сиру базової структури
На рисунку:

u_1, u_2 – управляючі дії; f_1, f_2 – неконтрольовані збурення;

$W_{o11}(p), W_{o12}(p), W_{o21}(p), W_{o22}(p)$ – передаточні функції ОК;
 $W_{P1}(p), W_{P2}(p)$ – передаточні функції регуляторів.

$\theta^{зад}, \varphi^{зад}$ – задане значення регульованої координати; $\Delta\theta, \Delta\varphi$ – помилки регулювання.

W – відносна вологість в камері визрівання сиру Θ - температура в камері визрівання сиру.

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

Передаточна функція ПІ-регулятора

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

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{из} p} + \frac{T_{пр} p}{0,2 \cdot T_{пр} p + 1} \right)$$

Результати ідентифікації зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1. Результати ідентифікації каналів перетворення координатних дій

Канал ОК	Модель динаміки	
	1-го порядку	2-го порядку

« $u_1 - \theta$ »	$WW_0(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-82,5p}}{93,75p + 1}$	$WW_0(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-38,77p}}{(65p + 1)^2}$
« $u_2 - \varphi$ »	$W_0(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-22,3p}}{31,3p + 1}$	$W_0(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-9,1p}}{(21,2p + 1)^2}$

Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.5, а с ПД-регулятором - на рис. 3.6. Структурна схема моделювання ОК наведена на рис.

5.3.

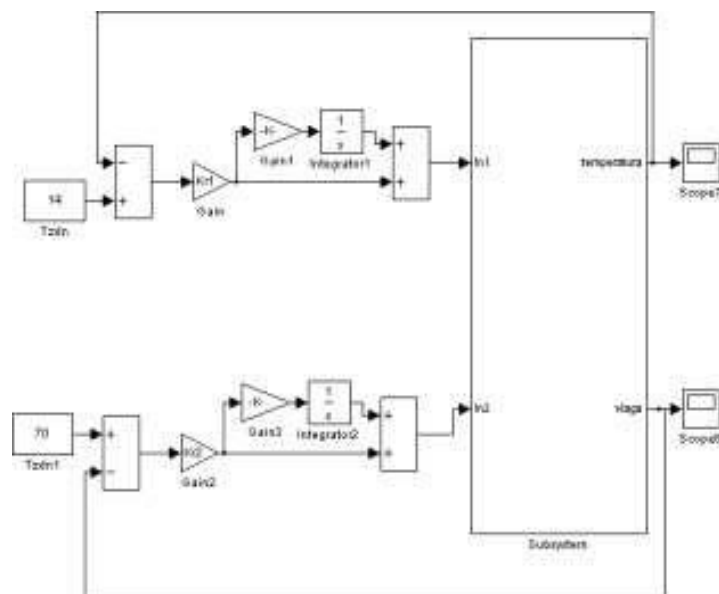


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

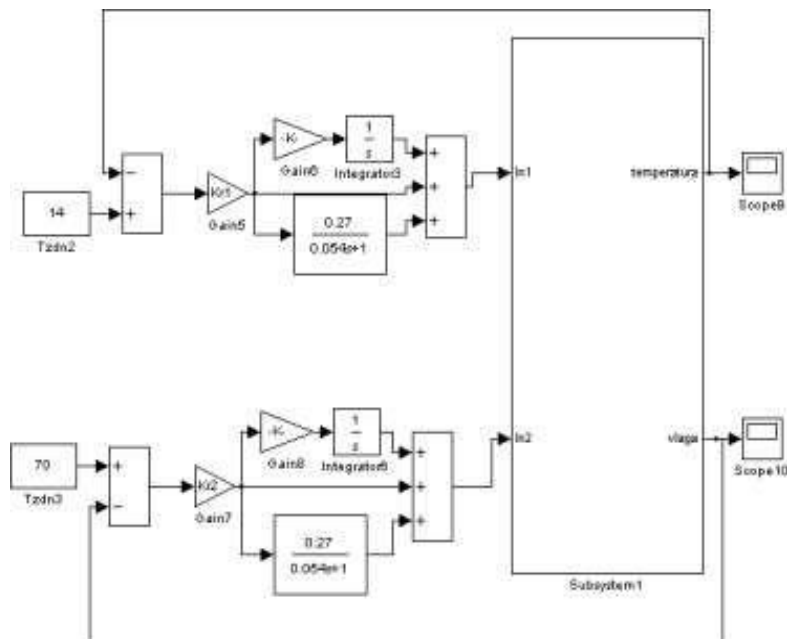


Рис. 3.6 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

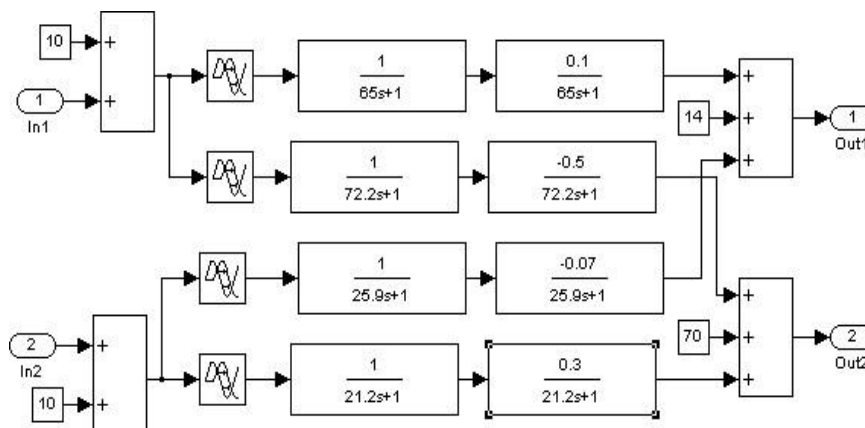


Рис. 3.7 – Структурна схема моделювання ОК

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК каналів « $u_1 - \theta$ » та « $u_2 - \phi$ » :

$$W(p) = \frac{0,1 \cdot e^{-82,5p}}{93,75p+1} \quad W_0(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-22,3p}}{31,3p+1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора каналу « $u_1 - \theta$ »:

$$KK_p = \frac{0,8 \cdot T_{00}}{0,1 \cdot 82,5} = \frac{0,8 \cdot 93,75}{0,1 \cdot 82,5} = 9 \frac{\% \text{х.р.о.}}{^{\circ}\text{C}} \quad TT_{00} = 2,5 \cdot \pi = 2,5 \cdot 82,5 = 206,25 \text{с}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора каналу « $u_2 - \phi$ »:

$$KK_p = \frac{0,8 \cdot T_{00}}{0,3 \cdot 82,5} = \frac{0,8 \cdot 31,3}{0,3 \cdot 82,5} = 1 \frac{\% \text{х.р.о.}}{^{\circ}\text{C}} \quad TT_{00} = 2,5 \cdot \pi = 2,5 \cdot 22,3 = 55,75 \text{с}$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора каналу « $u_1 - \theta$ »:

$$KK_p = \frac{1 \cdot T_{00}}{K_{00} \tau_{00}} = \frac{1 \cdot 93,75}{0,1 \cdot 82,5} = 11,36 \frac{\% \text{х.р.о.}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$TT_{ИЗ} = 2 \cdot \tau_{00} = 2 \cdot 82,5 = 165 \text{ c}$$

$$TT_{ПР} = \tau_{00} = 82,5 \text{ c}$$

Розрахунок параметрів ПД- регулятора каналу « $u_2 - \phi$ »:

$$KK_p = \frac{1 \cdot T_{00}}{K_{00} \tau_{00}} = \frac{1 \cdot 31,3}{0,3 \cdot 22,3} = 4,7 \frac{\% \text{х.р.о.}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$TT_{ИЗ} = 2 \cdot \tau_{00} = 2 \cdot 22,3 = 44,6 \text{ c}$$

$$TT_{ПР} = \tau_{00} = 22,3 \text{ c}$$

Для оптимального параметричного синтезу САР температури вистоювання сиру з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.8. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 3.9.

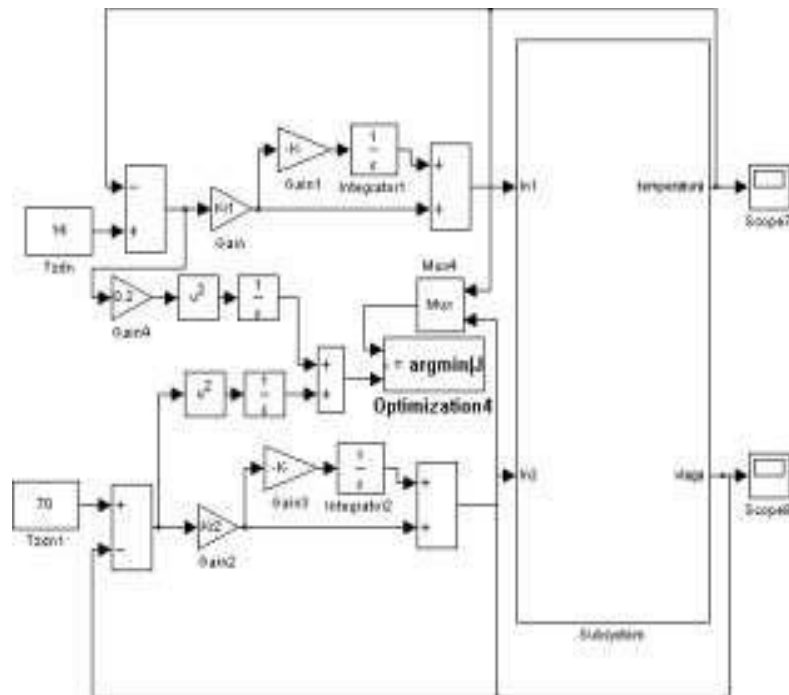
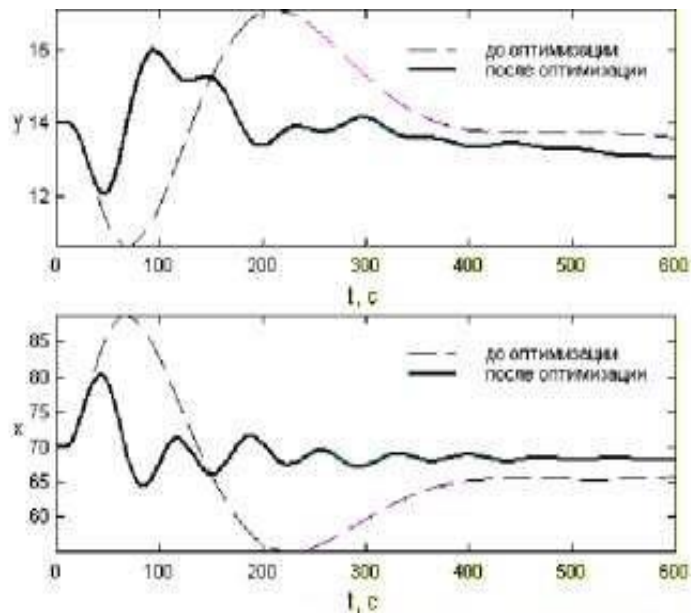


Рис. 3.8 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерія оптимальності
Kr1	4.0888	-10	0.9	100	До – 54545,2423
Tiz1	300.1904	-10	206	1000	Після – 5292,1206
Kr2	1.3568	-10	0.1	100	Кількість кроків процедури оптимізації: Максимальне – 10000 Фактичне - 434
Tiz2	88.3166	-10	55	1000	

Рис. 3.9 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Порівнюємо перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результатів порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники якості		Час перехідного процесу		Критерій
	$\Delta\theta_{\text{МАКС}}$	$\Delta\varphi_{\text{МАКС}}$	По θ	По φ	
до оптимізації	4	17	400	410	54545
після оптимізації	2	10	210	160	5295

Для оптимального параметричного синтезу САР температури пастеризації соку з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.10. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рисунку 3.11.

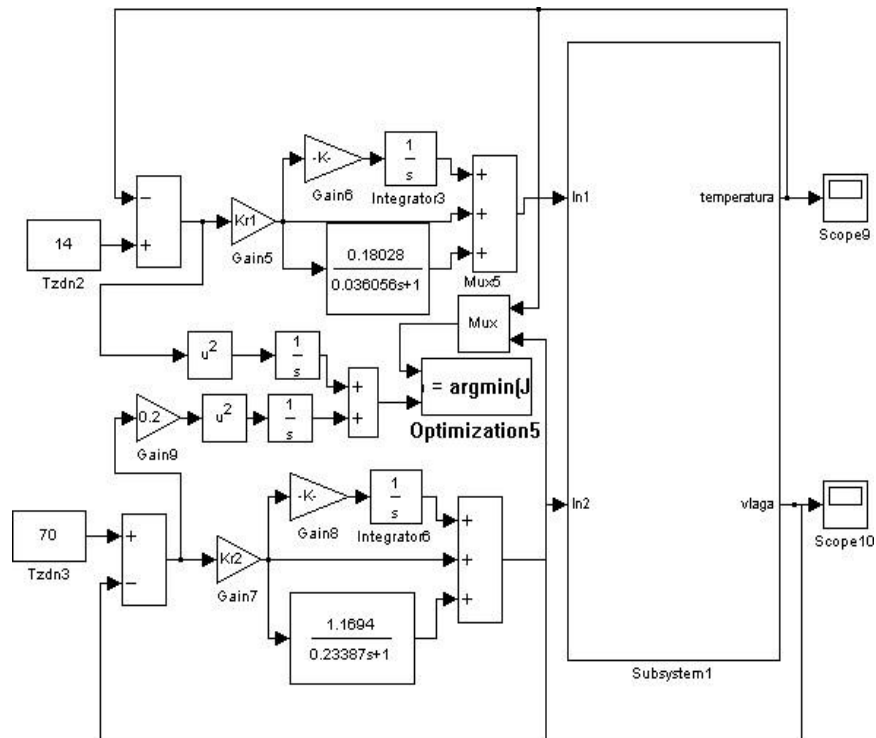
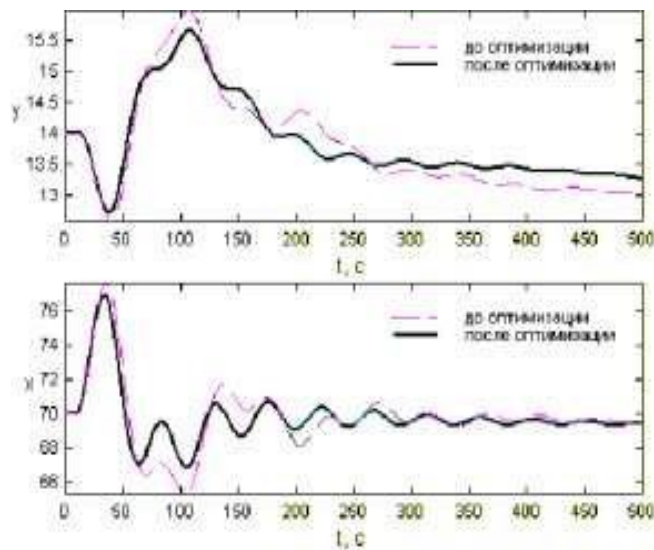


Рис. 3.10 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерія оптимальності До – 2409.9753 Після – 1523.9468
Kr1	2,6504	-10	1.46	100	
Tiz1	61.2795	-10	64	1000	
Tpr1	15.226	-10	30	1000	Кількість кроків процедури оптимізації: Максимальне – 10000 Фактичне - 918
Kr2	1.7235	-10	0.86	100	
Tiz2	26.4416	-10	11	1000	
Tpr2	9.1734	-10	25	1000	

Рис. 3.11 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

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

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

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості		Час перехідного процесу		Критерій
	$\Delta\theta_{\text{МАКС}}$	$\Delta\varphi_{\text{МАКС}}$	По θ	По φ	
до оптимізації	2	10	210	120	2409
після оптимізації	1,5	6,5	190	100	1523

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.12. При цьому структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.13, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 3.14. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.16 і в таблиці 3.16.

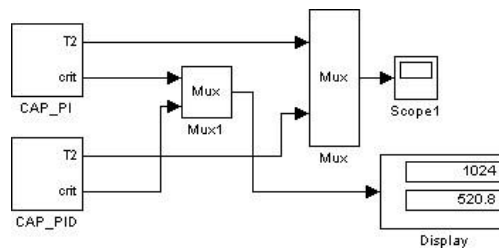


Рис. 3.12 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

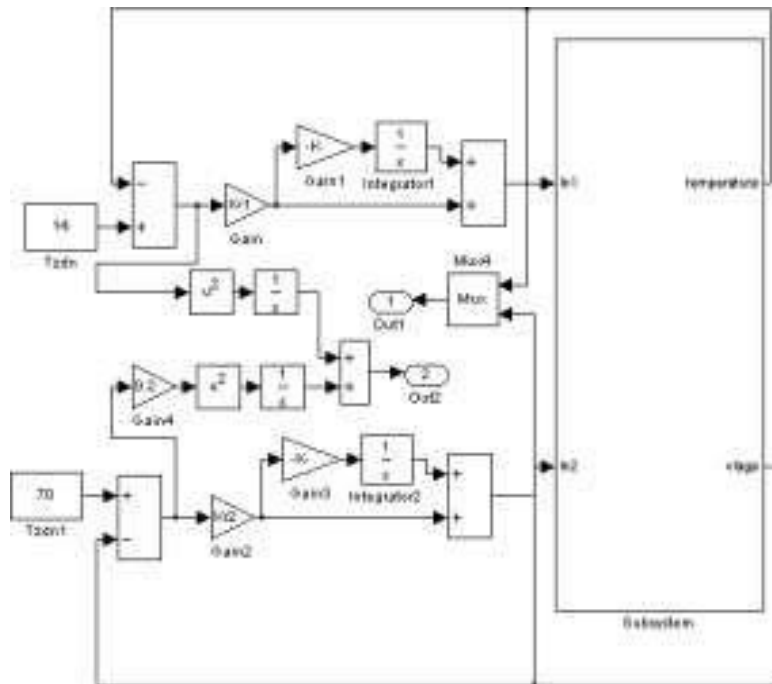


Рис. 3.13. – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

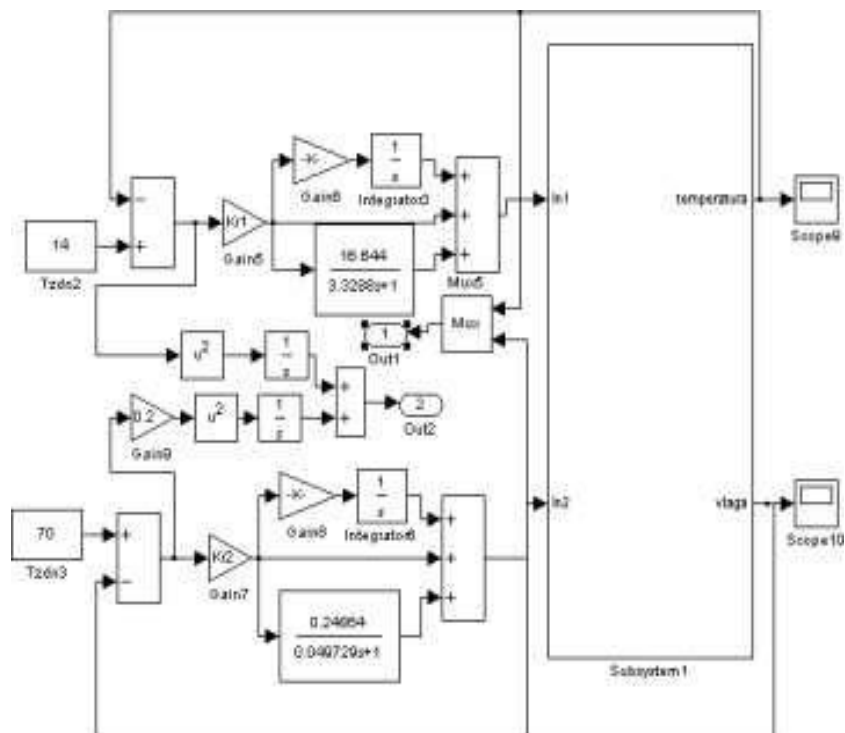


Рис. 3.14. – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

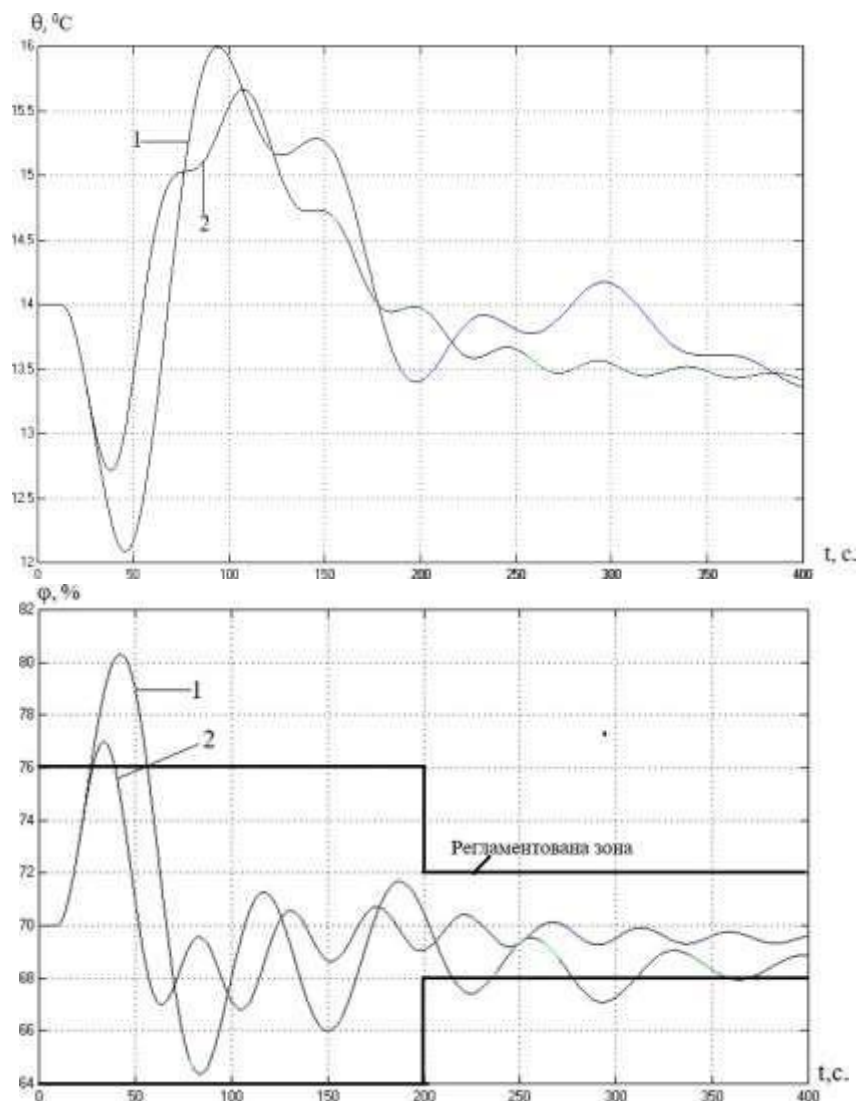


Рис. 3.1.5 – Результати порівняння варіантів САР:
1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

Таблиця 3.5 – Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta\theta_{\text{МАКС}}$	$\Delta\varphi_{\text{МАКС}}$	
ПІ	4	10	5295
ПІД	1.5	6.5	1523

Аналіз отриманих перехідних характеристик показує, що система автоматичного регулювання з ПІД-регулятором перевершує інші варіанти за основними показниками якості. У зв'язку з цим подальші дослідження доцільно проводити з використанням саме ПІД-закону регулювання.

У процесі експлуатації камери визрівання сиру можливі зміни часу запізнення в каналах об'єкта керування. Крім того, внаслідок нелінійних

властивостей об'єкта його параметри можуть змінюватися в межах до $\pm 20\%$. З огляду на це, оцінку робастності (грубості) системи автоматичного регулювання необхідно виконувати в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень величиною до 20% ходу регулюючого органа.

Результати дослідження САР з ПІ-регулятором на робастність наведені на рис. 3.16, а з ПД-регулятором — на рис. 3.17. Отримані результати свідчать, що обидві системи зберігають стійкість при варіації параметрів об'єкта, оскільки перехідні процеси мають збіжний характер.

Водночас встановлено, що за дії детермінованих збурень перехідні процеси виходять за межі допустимих регламентних зон, що свідчить про недостатню якість регулювання в умовах збурень.

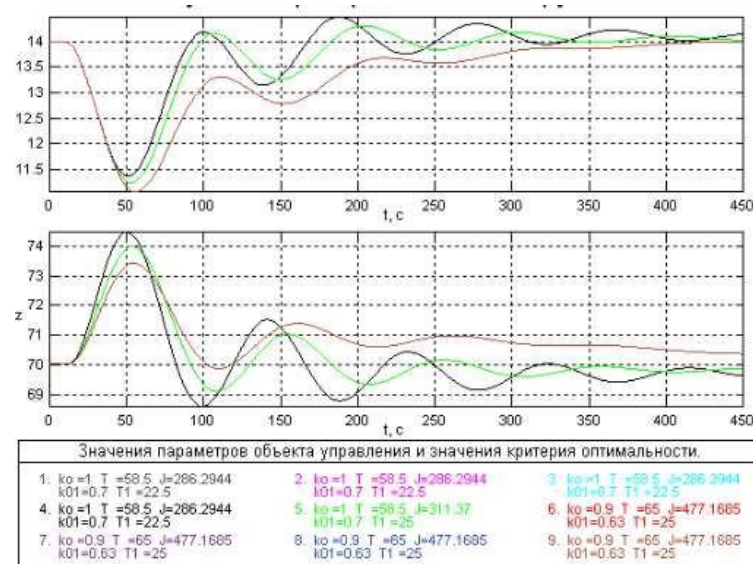


Рис. 3.16 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором в умовах дії детермінованих контрольованих та неконтрольованих збурень

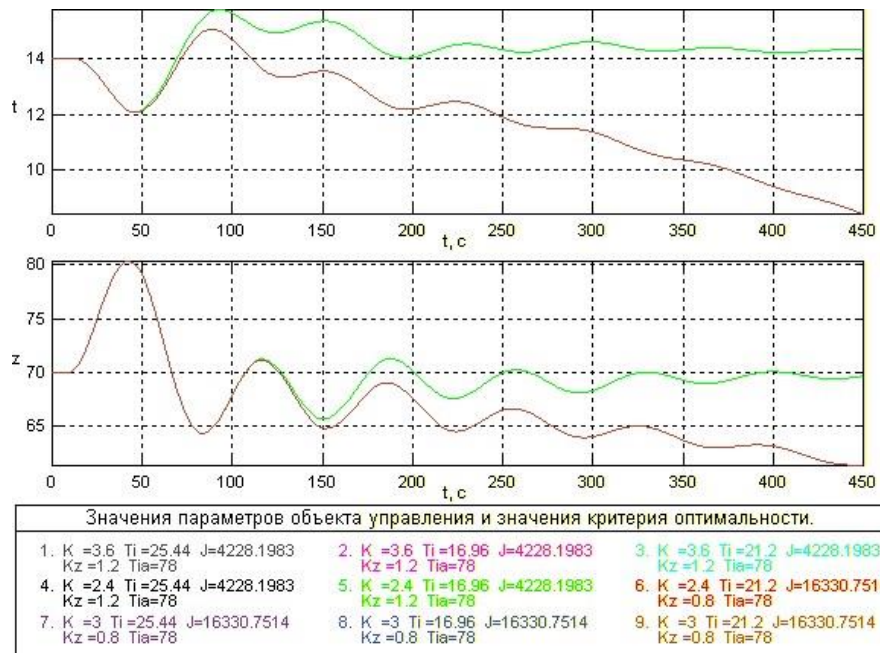


Рис. 3.17 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором в умовах дії детермінованих контрольованих та неконтрольованих збурень

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, "найсприятливішим" для керування сполученням параметрів ОК є більший на 20% час запізнення ОК, а "найнесприятливішим" для керування сполученням - на 20% менший час запізнення.

Схема моделювання САР базової структури з ПІ-регулятором для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування наведено на рис. 3.18. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.19 і зведено в таблицю 3.6.

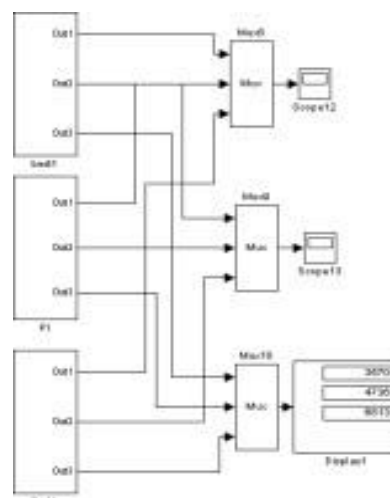


Рис. 3.18 – Схема моделювання САР базової структури з ПІ-регулятором для

порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК

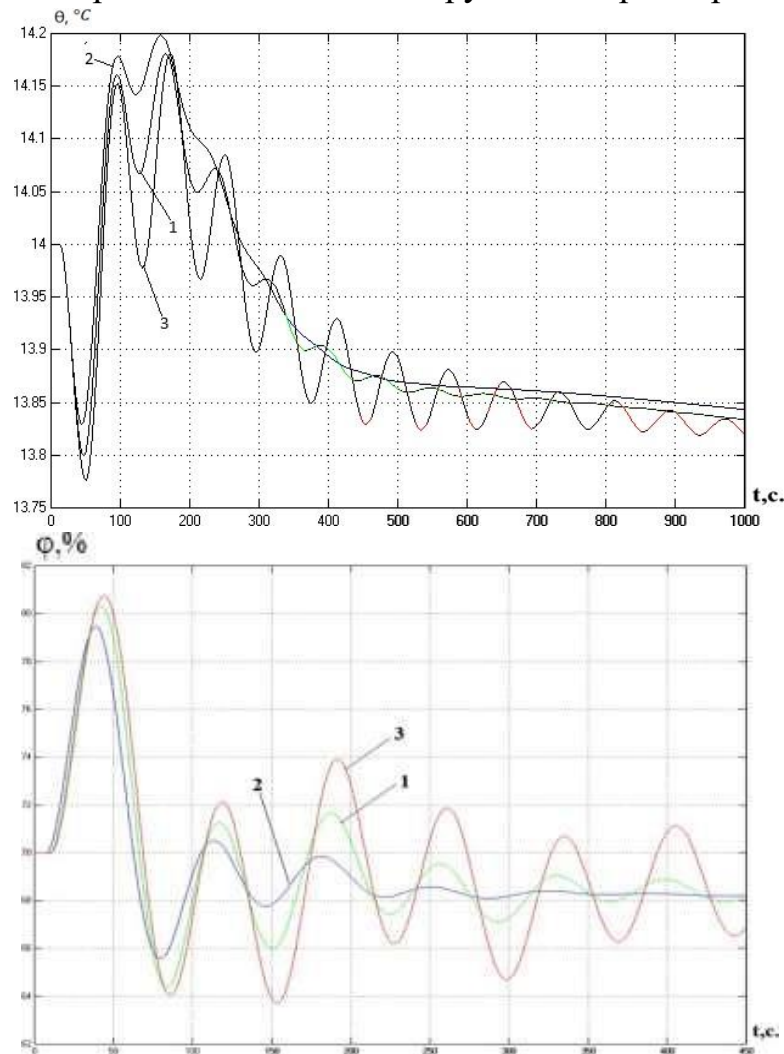


Рис. 3.19– Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регулятором:

- 1 – при номінальних параметрах ОК;
- 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК;
- 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.6 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регулятором

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta\theta_{\text{МАКС}}$	$\Delta\P_{\text{МАКС}}$	
Номінальні	2	11	4736
"Найсприятливіші"	1,7	9	3570
"Найнесприятливіші"	2,3	12	6813

Схема моделювання САР базової структури з ПД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування наведено на рис. 3.14. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.20 і зведено в таблицю 3.7.

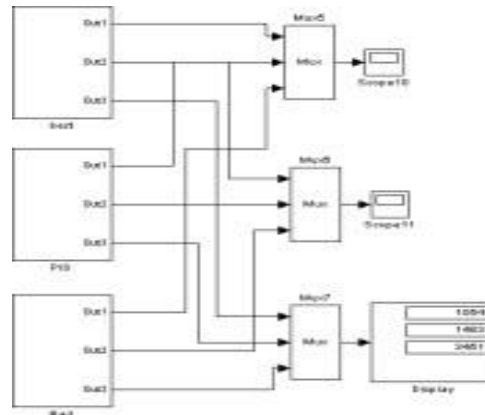


Рис. 3.20. – Схема моделювання САР базової структури з ПД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК

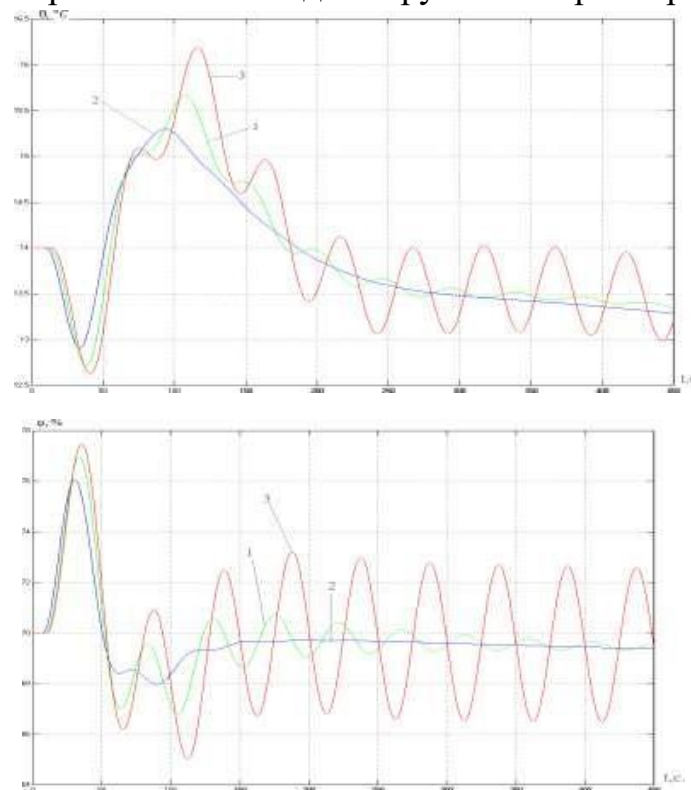


Рис. 3.21. – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПД-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.7 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПД-регулятором

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta\theta_{\text{МАКС}}$	$\Delta\P_{\text{МАКС}}$	
Номінальні	1.6	16.5	1483
"Найсприятливіші"	1.3	16	1054
"Найнесприятливіші"	2.3	17	3451

3.2. Структурний і параметричний синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності

Недостатня точність роботи системи автоматичного регулювання може бути зумовлена як зовнішніми, так і внутрішніми чинниками. До зовнішніх факторів належать інтенсивні контрольовані та неконтрольовані збурення, а також значні зміни задавального сигналу. Внутрішні причини пов'язані з особливостями об'єкта керування та структури САР, зокрема зі значним співвідношенням часу запізнення до сталої часу об'єкта (τ_0 / T_0), а також взаємним впливом каналів у багатовимірній системі.

Для розглянутого випадку основною причиною зниження динамічної точності є багатовимірність об'єкта керування, що призводить до взаємного впливу каналів регулювання. Одним із ефективних способів підвищення якості регулювання в таких умовах є побудова автономної системи автоматичного керування.

Підвищення динамічної точності пропонується реалізувати на основі принципу двоканальності Петрова. Суть цього підходу полягає у введенні додаткового каналу впливу типу « $F_{\text{ГВ}} - \theta_4$ » за допомогою коригуючого зв'язку. Така структура дозволяє компенсувати вплив збурень на регульовану координату.

Відповідно до принципу інваріантності Петрова, структурна схема системи автоматичного регулювання, яка є інваріантною до дії контрольованого збурення, наведена на рисунку 3.22.

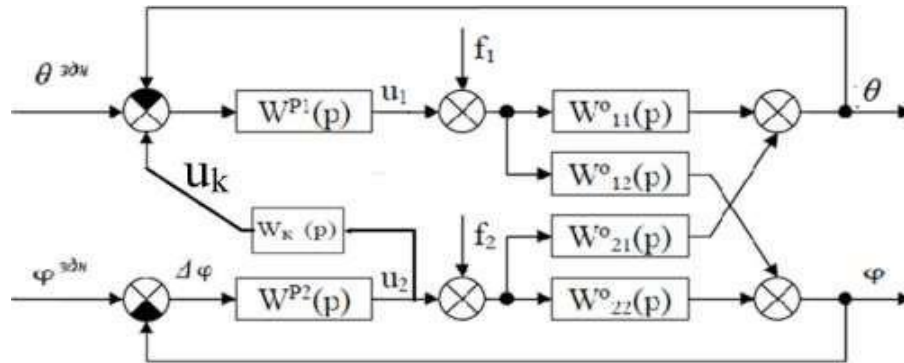


Рис. 3.22 – Структурна схема САР, інваріантна до дії контрольованого збурення

На схемі $W_K(p)$ - передавальна функція коригуючого зв'язку.

Необхідною умовою реалізації САР є фізична можливість організації додаткового каналу впливу, а для розглянутої САР така можливість існує. Достатньою умовою реалізації САР є фізична здійснюваність передавальної функції коригуючого зв'язку.

Для коригуючого зв'язку $W_K(p)$, що забезпечує автономність контуру регулювання θ відносно контуру регулювання φ . В якості вхідного параметра системи регулювання приймемо керуючу дію u_2 . Запишемо рівняння, яке буде відповідати умові автономності:

$$\theta = W_{u_2\theta}^c(p) \cdot u_2 \Big|_{u_2 \neq 0} = 0$$

Умова автономності виконається, якщо $WW_{u_2\theta}^c(p) = 0$. Запишемо передаточну функцію системи за означенням каналом:

$$W_{u_2\theta}^c(p) = W_{21}^o(p) + W_K(p) \cdot W_1^P(p) \cdot W_{11}^o(p) = 0$$

Звідси передаточна функція коригуючого зв'язку:

$$W_K(p) = - \frac{W_{21}^o(p)}{W_1^P(p) \cdot W_{11}^o(p)}$$

$$\begin{aligned} W_K(p) &= - \frac{\frac{k_{21} \cdot e^{-\tau_{21}p}}{T_{21}p + 1}}{k_{p1} \cdot \frac{T_{I31} \cdot T_{yп1} \cdot p^2 + T_{I31}p + 1}{T_{I31}p} \cdot \frac{e^{-\tau_{11}p}}{T_{11}p + 1} \cdot k_{11}} = \\ &= - \frac{k_{21}}{k_{p1} \cdot k_{11}} \cdot e^{(-\tau_{21} + \tau_{11})p} \cdot \frac{T_{11} \cdot T_{I31} \cdot p^2}{(T_{21}p + 1) \cdot (T_{I31} \cdot T_{yп1} \cdot p^2 + T_{I31}p + 1)} \end{aligned}$$

$$WW_K(p) = - \frac{-0,07}{3,77 \cdot 0,1} \cdot e^{54,6p} \cdot \frac{93,75 \cdot 753,6p^2 + 753,6p}{(38,75p + 1) \cdot (3\,165,12p^2 + 753,6p + 1)}$$

$$WW_K(p) = 0,2 \cdot e^{54,6p} \cdot \frac{93,75 \cdot 753,6p^2 + 753,6p}{122\,648,4p^3 + 32367,12p^2 + 792,4p + 1}$$

Отримана передавальна функція коригуючого зв'язку є фізично нездійсненною, оскільки містить ланку чистого випередження. Для забезпечення фізичної здійснюваності передавальної функції проведемо заміну:

$$e^{54,6p} = 1 + \frac{54,6p}{5,46p + 1}$$

Тоді передавальна функція фізично реалізованого коригуючого зв'язку матиме вигляд:

$$WW_{K21}(p) = 0,2 \cdot \left(1 + \frac{54,6p}{5,46p + 1}\right) \cdot \frac{93,75 \cdot 753,6p^2 + 753,6p}{122\,648,4p^3 + 32367,12p^2 + 792,4p + 1}$$

Передавальна функція коригуючого зв'язку подана перехідна характеристика - на рис. 3.23.

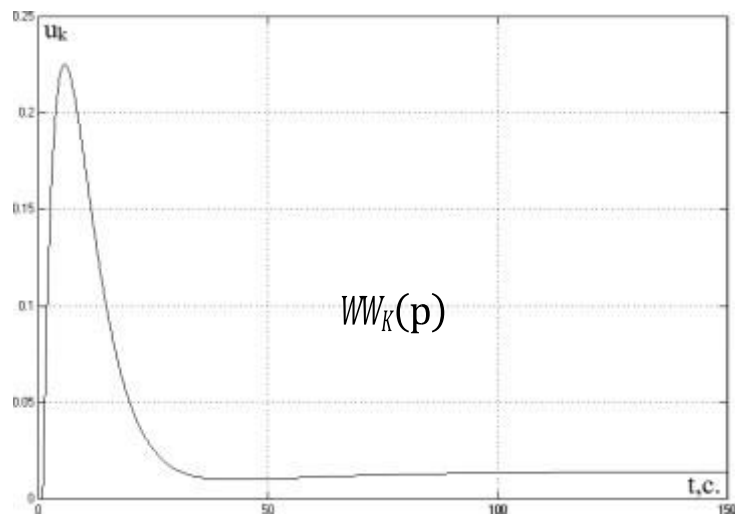


Рис. 3.23 – Переходная характеристика корректирующей связи

Отримана передавальна функція коригуючого зв'язку представлена занадто складною передавальною функцією, тому її доцільно спростити зі збереженням її диференціюючих властивостей. Спрощена передавальна функція коригуючого зв'язку матиме вигляд:

$$W_K(p) = K_K \cdot \left(1 + \frac{T_{K1}p}{0,1 \cdot T_{K1}p + 1}\right) \cdot \frac{T_{K2}p}{(T_{K3}p + 1)^2}$$

Як початкові наближення параметрів коригуючого зв'язку приймемо наступні значення параметрів: $KK = 0,001$; $TK1 = 37$; $TK2 = 33,5$; $TK3 = 54,2$. Для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку скористаємося схемою моделювання, поданою на рис. 3.24. Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку подано на рис. 3.25, а результати моделювання - на рис. 3.26.

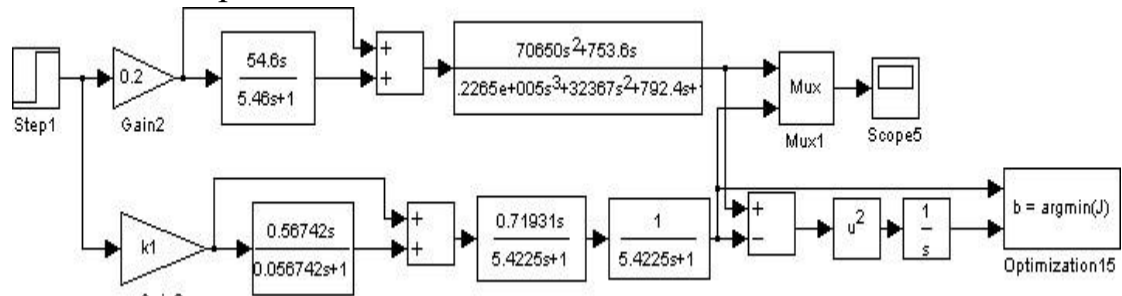
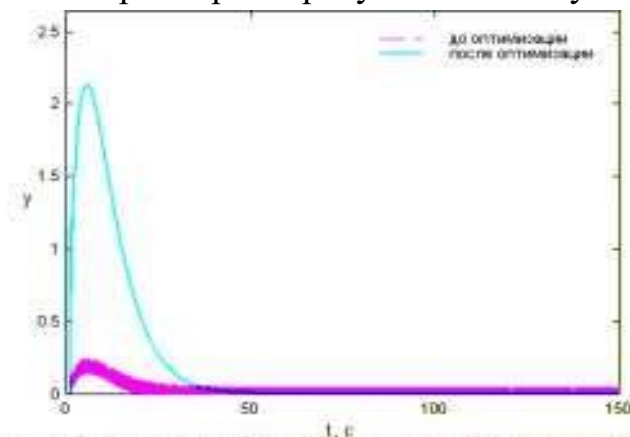


Рис. 3.24 - Схема моделювання для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерія оптимальності
Kr1	3.2551	-100	4	100	До – 39.8435
Tk2	0.5678	-100	0.5	1000	Після – 2.1545
Tk3	8.5043	-100	0.7	100	Кількість кроків процедури оптимізації: Максимальне – 10000 Фактичне - 434
Tk4	5.4194	-100	5.4	1000	

Рис. 3.25 Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку

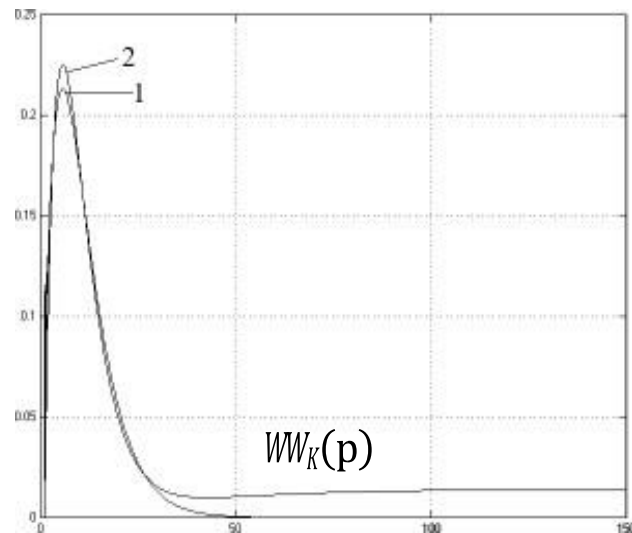


Рис. 3.26 – Перехідна характеристика обчисленої та спрощеної коригуючих зв'язків, де 1- спрощена ,а 2- розрахунковий корегуючий зв'язок

Схема моделювання САР з підвищеною динамічною точністю для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку подана на рис. 3.27, а результати оптимізації - на рис. 3.28

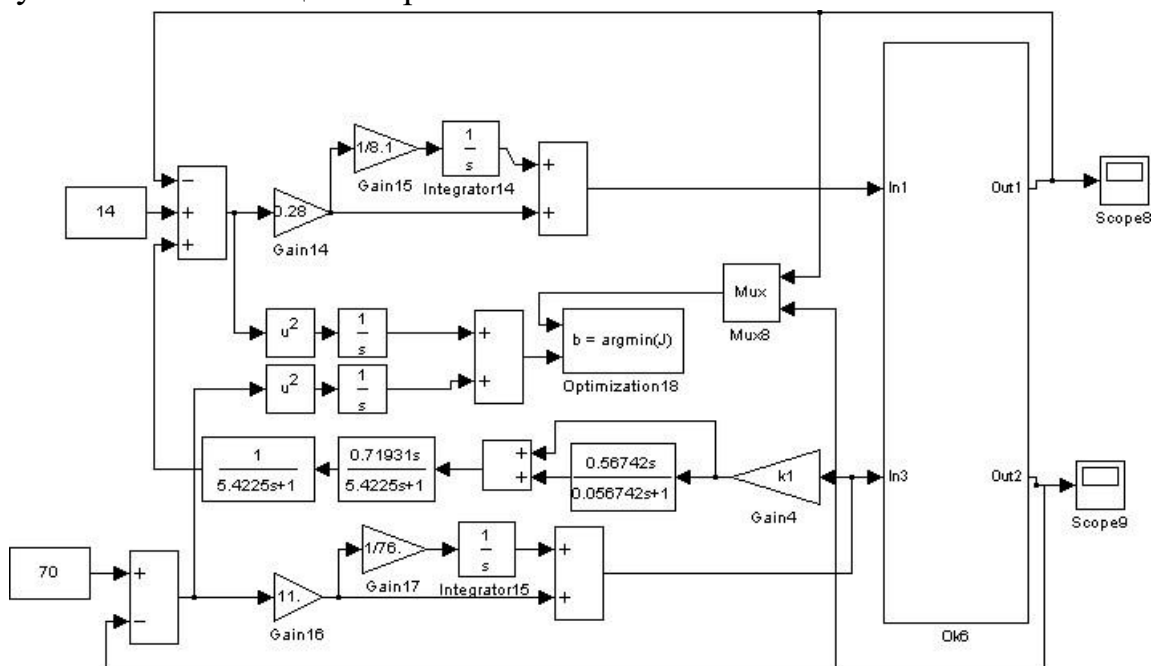
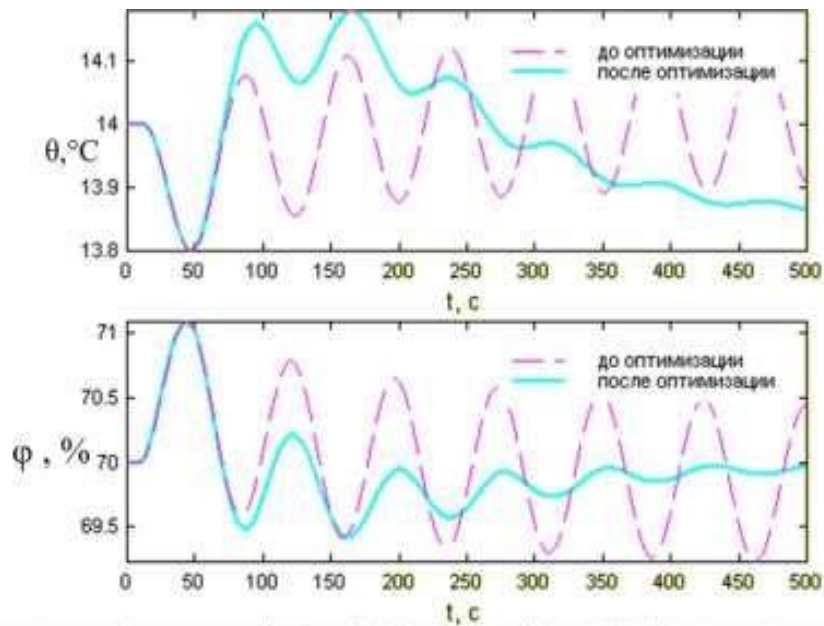


Рис. 3.27 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерія оптимальності
Kr1	0.35348	-100	3	1000	До – 61883.156
Tiz1	0.49957	-100	0.5	1000	Після – 59.28895
Kr2	1.1178	-100	10	1000	Кількість кроків процедури оптимізації: Максимальне – 10000 Фактичне - 663
Tiz2	11.0113	-100	5	1000	

Рис. 3.28 – Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку

Аналогічно до базової структури, система автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності досліджується на робастність в умовах варіації параметрів об'єкта керування. Зокрема, розглядається зміна часу запізнювання в каналах об'єкта в межах $\pm 20\%$ від номінального значення.

Аналіз результатів показує, що найбільш сприятливі умови для керування відповідають випадку, коли час запізнювання в каналі керування дорівнює номінальному значенню, а в каналі дії контрольованого збурення — зменшений на 20%. У свою чергу, найгірші умови спостерігаються при одночасному збільшенні часу запізнювання в обох каналах на 20% відносно номіналу.

Структурна схема моделювання системи автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності, що використовується для порівняння варіантів із номінальними, сприятливими та несприятливими параметрами об'єкта керування, наведена на рисунку 3.29.

Результати моделювання та порівняльний аналіз досліджуваних варіантів представлені на рисунку 3.30 і узагальнені у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Результати порівняння варіантів САР ПДТ

Параметри ОК	Прямі показники якості	Критерій
	$\Delta\theta_{\text{МАКС}}$	
Номинальні	0,17	59,29
"Найсприятливіші"	0,19	47,54
"Ненайсприятливіші"	0,29	96,92

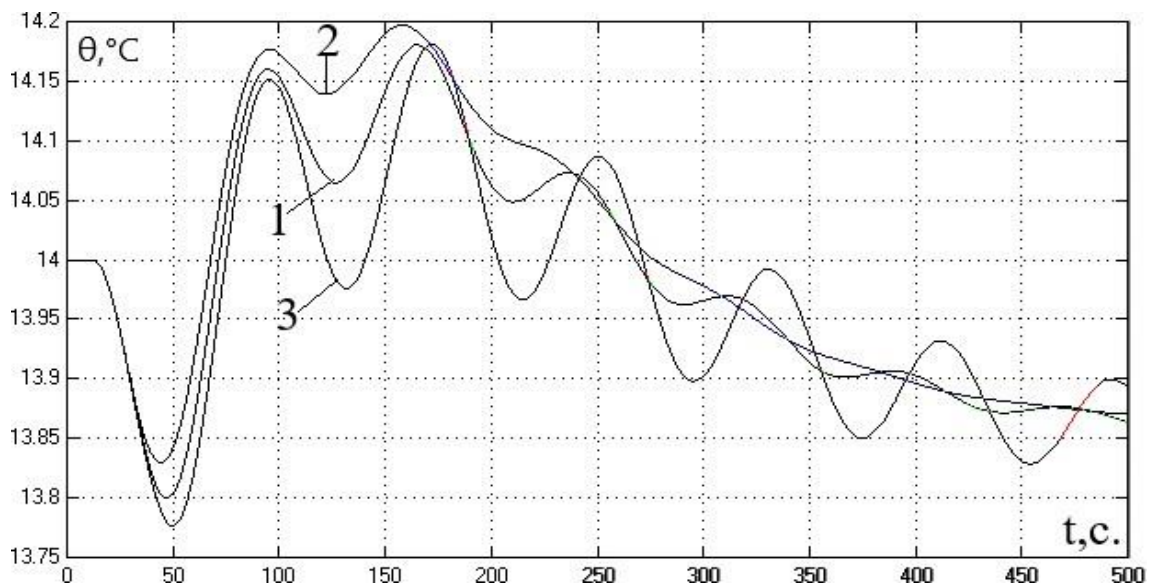


Рис. 3.30– Результати порівняння варіантів САР підвищеної динамічної точності

Як видно з результатів аналізу САР на грубість, САР підвищеної динамічної точності є грубою, оскільки при будь-яких комбінаціях параметрів ОУ вона дає збіжні перехідні процеси, які, крім того, не виходять за межі зони незначних відхилень.

Для порівняння якості роботи САР базової структури та підвищеної динамічної точності розроблена структурна схема моделювання, наведена на рис. 3.31.

Результати порівняння наведені на рис. 3.32 та в таблиці 3.9.

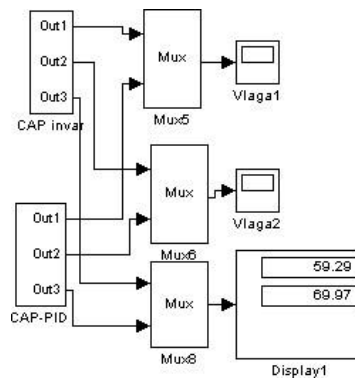


Рис. 3.31 - Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

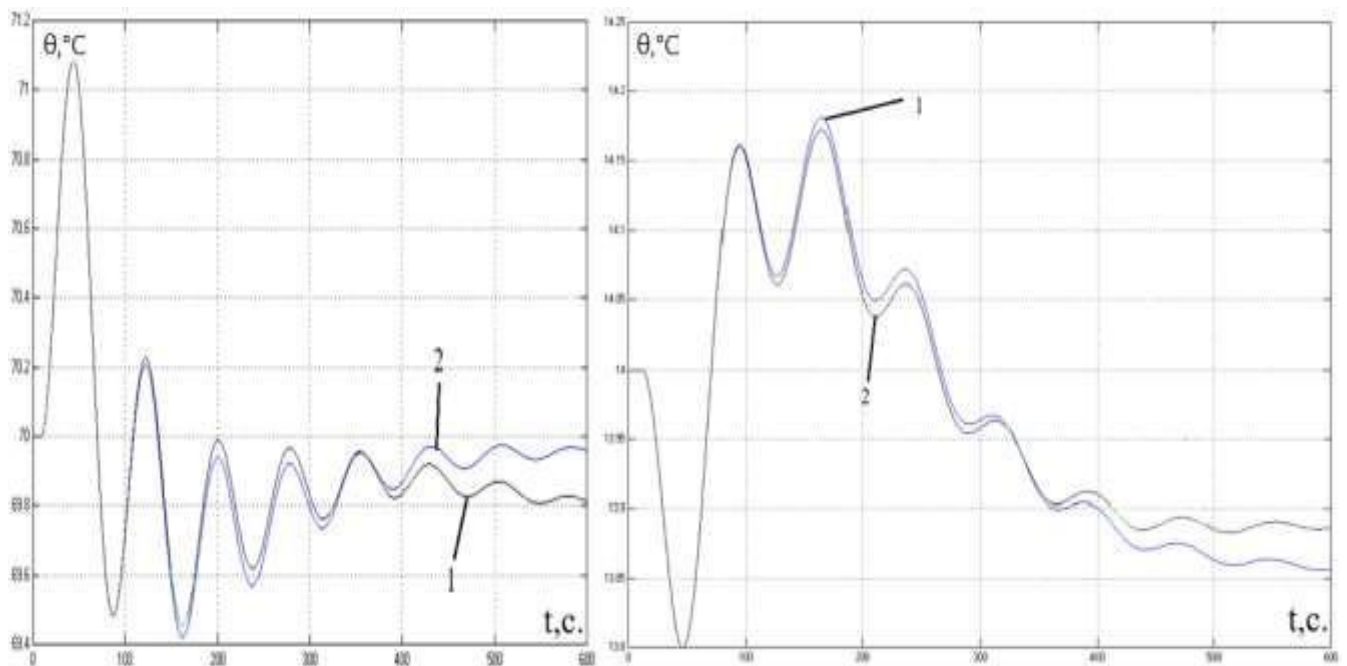


Рис. 3.32 – Перехідні процеси в САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності , де 1 – САР базової структури 2- САР підвищеною динамічною точністю

Таблиця 3.9 – Результати порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

Структура САР	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta\theta_{\text{МАКС}}$	$\Delta\varphi_{\text{МАКС}}$	
Базова	0,2	1,2	63
Підвищеної динамічної точності	0,2	1,17	60

3.3 Висновки за розділом

Сформульовано гранично допустимі вимоги до якості регулювання процесу вистоювання сиру в камері визрівання.

Синтез системи автоматичного регулювання виконано у два етапи. На першому етапі параметри регулятора визначалися за інженерною методикою Копеловича, а на другому — здійснювався оптимальний параметричний синтез. Як критерій оптимальності використано інтегральний модульний критерій.

У якості базового алгоритму регулювання обрано ПІД-закон.

Після підвищення динамічної точності системи значення інтегрального критерію зменшилося приблизно на 3%. При цьому максимальні динамічні відхилення температури та відносної вологості суттєво не змінилися. Водночас тривалість перехідних процесів за каналами фактично зменшилася до нуля, оскільки відхилення регульованих параметрів залишаються в межах зони незначних відхилень.

Система автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності зберігає властивість робастності. Відносна різниця значень критерію для найбільш сприятливих і найбільш несприятливих поєднань параметрів об'єкта становить близько 45%. Це свідчить про знижену чутливість системи до варіації параметрів об'єкта керування порівняно з базовою структурою.

З урахуванням отриманих результатів можна зробити висновок, що система підвищеної динамічної точності забезпечує покращення показників якості регулювання у порівнянні з базовою САР, тому її застосування є доцільним.

РОЗДІЛ 4.

Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом

4.1. Конкретизація задачі логічного керування процесом визрівання сирів

Як об'єкт модернізації системи автоматизації обрано процес визрівання сирів. Визрівання є одним із ключових етапів виробництва, оскільки саме на цій стадії формуються основні споживчі властивості продукту.

У процесі визрівання в сирі відбуваються складні мікробіологічні та ферментативні перетворення. Внаслідок цього компоненти продукту зазнають суттєвих фізико-хімічних змін, які визначають його смакові характеристики, аромат, консистенцію та внутрішню структуру (рисунок).

Апаратурно-технологічна схема процесу визрівання сирів наведена на рис.4.1.

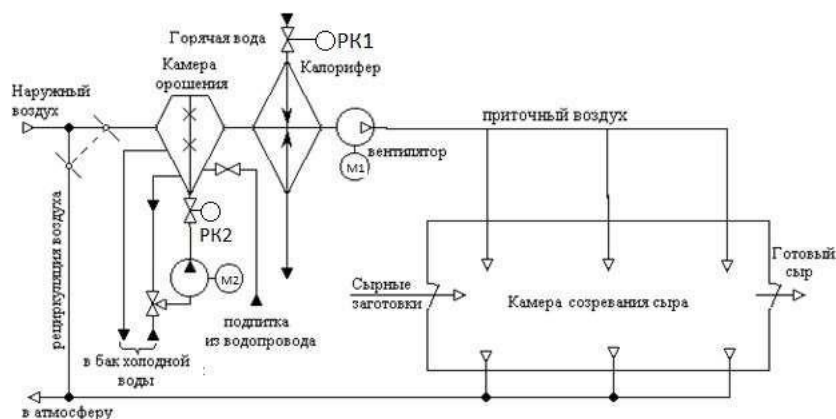


Рис. 4.1 – Апаратурно-технологічна схема процесу визрівання сирів

Після соління сири витримують у спеціальному приміщенні 2...3 доби при температурі 8...12 °С і відносній вологості 90...95 %, а потім направляють у камери визрівання.

Характерним для сирів цієї групи є застосування у процесі визрівання кількох температурних режимів:

- кам. $t = 10...12\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\phi = 85...90\%$ $\tau 12...14$ діб
- кам. $t = 14...16\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\phi = 80...85\%$ $\tau 30$ діб
- кам. $t = 10...12\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\phi = 75...85\%$ до кінця визрівання

При відсутності на заводі умов для ступеневого режиму цей процес ведуть при температурі 12...14 °С і вологості 85...90 %.

Електродвигун вентилятора М1 керується дискретним сигналом і забезпечує подачу повітря до камери. Електродвигун насоса М2 також працює

під керуванням дискретного сигналу та призначений для подачі води в камеру зрошення.

Регулювальний клапан РК1 є виконавчим механізмом аналогової дії та використовується для зміни витрати гарячої води, що подається до калорифера. Регулювальний клапан РК2, який також має аналоговий принцип керування, забезпечує регулювання подачі холодної води в камеру зрошення.

У процесі розробки системи використовуються результати попередніх досліджень, зокрема дані ідентифікації об'єкта керування та системи автоматичного регулювання.

4.2. Формалізація регламентів функціонування за пуском, технологічною

та аварійної зупинкою технологічного процесу

Перед запуском процесу необхідно перевірити виконання умов пуску, а саме: наявність тиску в трубопроводі гарячої води та у системі підживлення, а також герметичність закриття дверей камери.

Для реалізації передпускової сигналізації вмикається звукове оповіщення, яке працює протягом заданого часу, після чого автоматично вимикається.

З метою забезпечення циркуляції повітря в камері здійснюється запуск електродвигуна вентилятора М1. Далі регулювальний клапан РК2 встановлюється у положення 60%, після чого вмикається електродвигун насоса М2 для подачі води в камеру зрошення.

Після досягнення заданого значення відносної вологості активується контур автоматичного регулювання вологості. Наступним етапом є відкриття регулювального клапана РК1 до 60%. Після стабілізації температури на заданому рівні вмикається контур автоматичного регулювання температури.

Блок-схема алгоритму пуску процесу визрівання сирів наведена на рисунку 4.2.

Для штатної зупинки процесу необхідно послідовно вимкнути електродвигун насоса М2, закрити регулювальні клапани РК1 і РК2, після чого витримати час для вентиляції камери та вимкнути вентилятор М1. Блок-схема алгоритму зупинки наведена на рисунку 4.4.

Аварійна зупинка передбачає негайне вимкнення контурів регулювання температури та вологості, а також відключення електродвигунів М1 і М2. Відповідна блок-схема наведена на рисунку 4.3.

4.3. Формалізація регламентів та розробка алгоритмів логічного керування для підсистем зупинки в нештатних ситуаціях

На рис. 4.5, 4.6 наведено блок-схеми алгоритмів керування пуском та зупинкою процесу дозрівання сирів, що розроблені згідно до регламентів функціонування, та деталізують послідовність видачі керуючих дій.

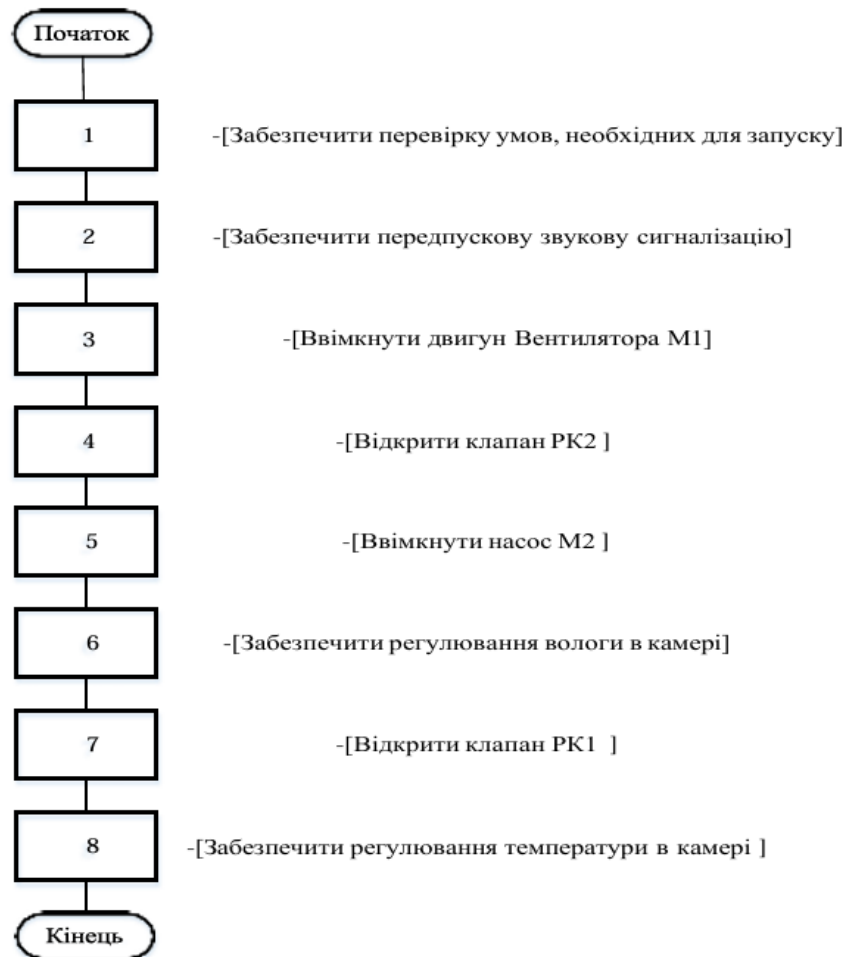


Рис. 4.5 – Блок-схема регламента на пуск



Рис. 4.6 – Блок-схема регламента на аварійну зупинку

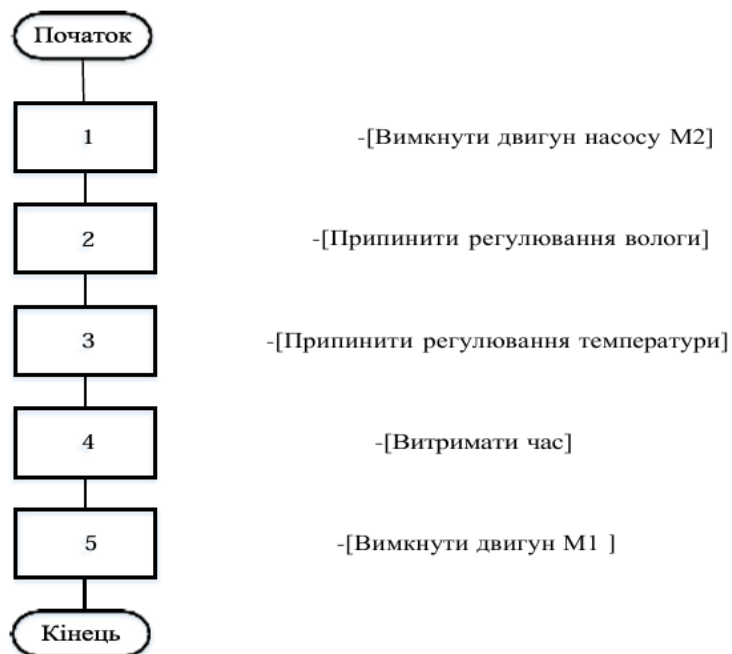


Рис. 4.7 – Блок-схема регламента на зупинку

Перед виконанням пуску необхідно перевірити виконання основних умов, а саме: наявність тиску гарячої води в трубопроводі, тиску води для підживлення, а також факт закриття дверей камери.

Для реалізації передпускової сигналізації вмикається звуковий сигнал, який подається протягом заданого часу, після чого автоматично вимикається.

Після цього запускається електродвигун вентилятора М1 для забезпечення циркуляції повітря. Далі регулювальний клапан РК2 відкривається на 60%, після чого вмикається насос М2. Після досягнення заданого значення відносної вологості вмикається контур автоматичного регулювання вологості.

Наступним етапом є відкриття регулювального клапана РК1 до 60%. Після досягнення заданого значення температури в камері активується контур автоматичного регулювання температури.

Блок-схема алгоритму керування при штатному пуску процесу наведена на рисунку 4.8.

Для виконання штатної зупинки процесу необхідно вимкнути електродвигун насоса М2 та відключити контури регулювання температури і вологості. Після цього витримується пауза тривалістю 120 секунд для вентиляції камери, після чого вимикається вентилятор М1. Блок-схема алгоритму штатної зупинки наведена на рисунку 4.9.

У випадку виникнення аварійної ситуації, наприклад, при зникненні одного з контрольних сигналів (зокрема сигналу від автоматичного вимикача електродвигуна), виконується аварійна зупинка. Вона передбачає негайне вимкнення контурів регулювання температури та вологості, а також відключення електродвигунів М1 і М2.

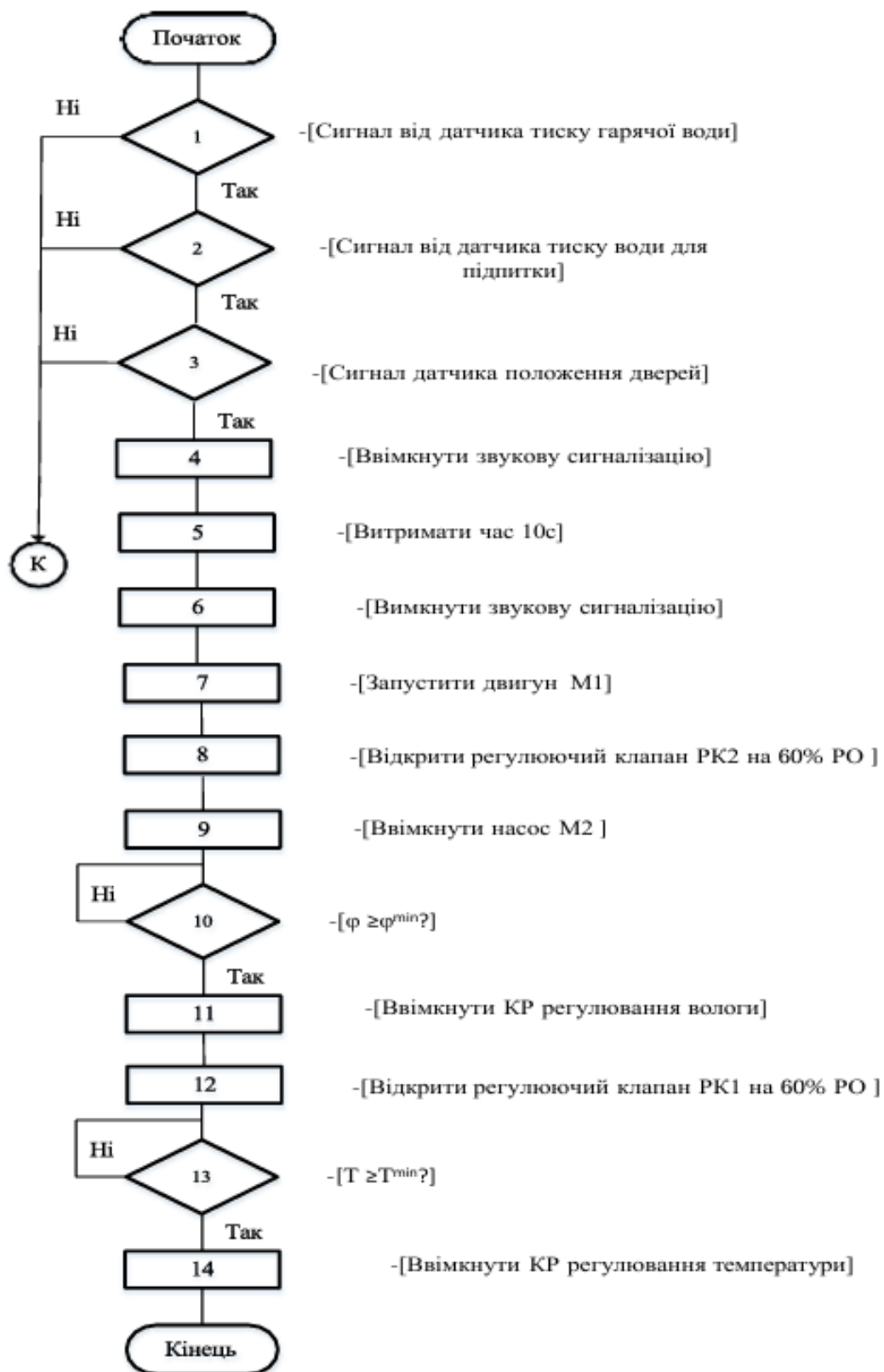


Рис.4.8. –Блок-схема алгоритма автоматичного управління пуском

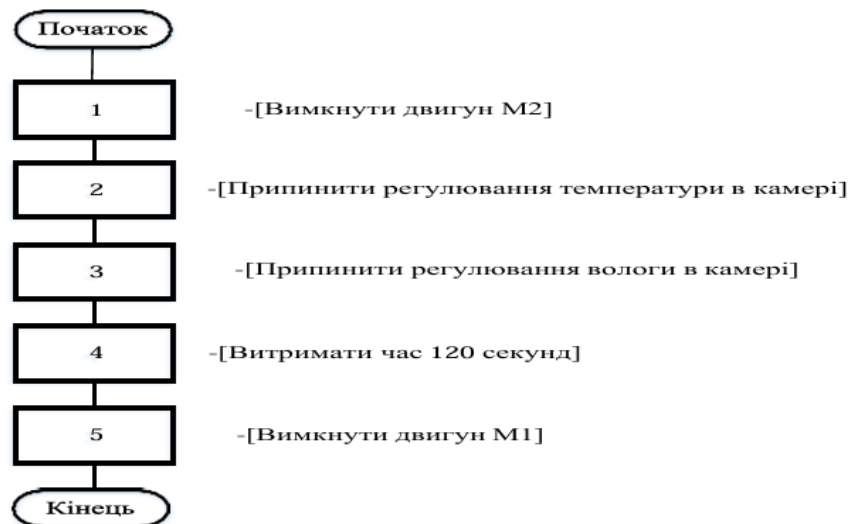


Рис.4.9. - Блок - схема автоматичного управління зупинкою



Рис.4.10. Блок - схема автоматичного управління аварійною зупинкою

4.4. Реалізація алгоритмів логіко-програмного керування в виді функціональної логічної схеми

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

Формування умов, необхідних для запуску установки, здійснюється логічним елементом 9 на основі сигналів від датчиків і кнопки «Пуск» (4), які надходять до схеми через дискретні цифрові перетворювачі 5–8. Фіксація команди пуску реалізується за допомогою RS-тригера 10.

Після встановлення логічної «1» на виході RS-тригера 10 активується передпускова звукова сигналізація (ППЗС). Тривалість її роботи задається

таймером 11. Формування сигналу ППЗС здійснюється елементом 12 із подальшою передачею через цифро-дискретний перетворювач 13.

Після завершення дії ППЗС, за сигналом від таймера 11, розпочинається робота установки. При цьому спрацьовує RS-тригер 15, який формує сигнал на запуск електродвигуна вентилятора М1.

Далі сигнал із виходу тригера 15 подається на RS-тригер 24, який забезпечує відкриття регулювального клапана РК2 на 60%. Після цього сигнал передається на RS-тригер 26, що формує команду на запуск електродвигуна насоса М2.

Після досягнення заданого значення вологості сигнал із елемента 31 надходить на тригер 35, який формує команду на відкриття регулювального клапана РК1 на 60%.

Після досягнення заданого значення температури нуль-орган 43 формує сигнал на ввімкнення контуру автоматичного регулювання температури.

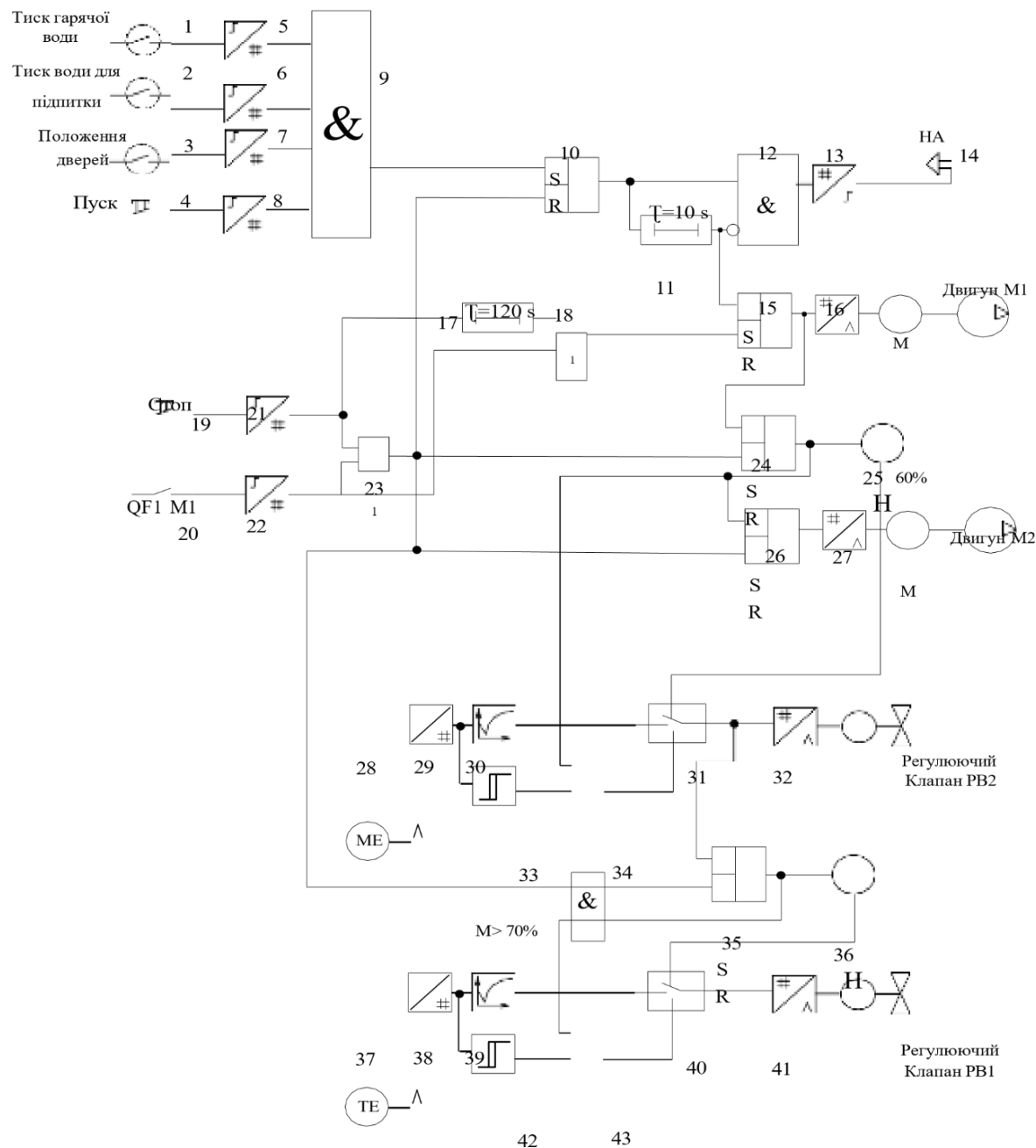


Рис. 4.11 - Функціонально-логічна схема управління процесом

4.5. Імітаційне моделювання роботи алгоритмів логічного керування

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. 4.12 наведена схема моделювання роботи САК, реалізована в MATLAB.

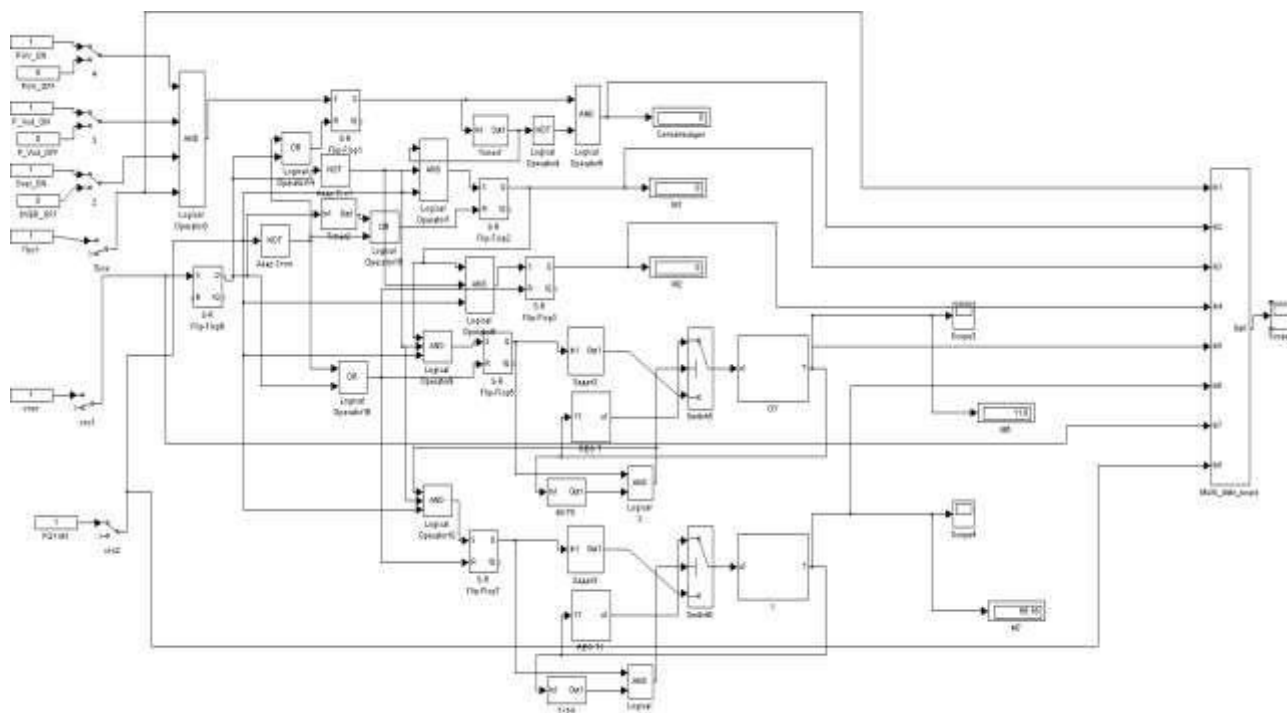


Рис. 4.12. – Схема моделювання роботи алгоритму запуску, технологічної та аварійної зупинки процесу визрівання сирів, яка реалізована в MATLAB

Дана схема відображає роботу технологічного апарату реалізовану в середовищі MatLab.

На рис. 4.13 наведені часові графіки змінних (Діаграма роботи системи керування), що відображають реальну послідовність керування пристроями процесу визрівання сирів.



Рис. 4.13. – Схема моделювання роботи блоку MUX_dr_score 1, що реалізована в MATLAB

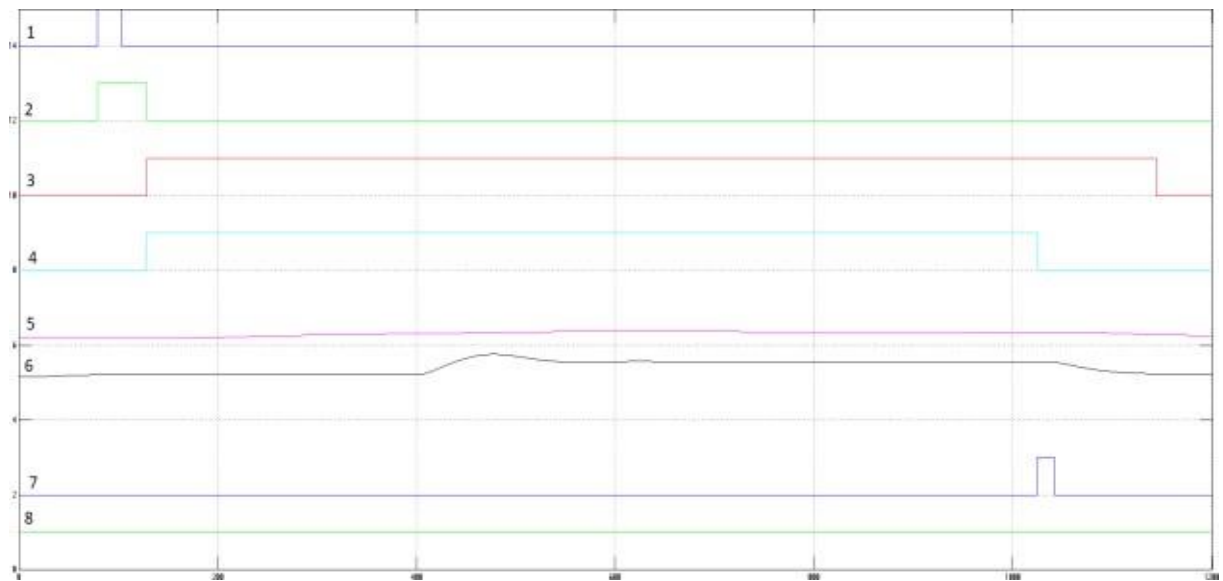


Рис. 4.14. – Діаграма роботи функціонально - логічної схеми процесу визрівання сирів, розробленої в програмі Matlab.

- 1 - Сигнал натискання кнопки «Пуск»
- 2 - Сигнал спрацьовування ППЗС
- 3 - Сигнал спрацьовування двигуна M1
- 4 - Сигнал спрацьовування двигуна M2
- 5 - Сигнал зміни вологості
- 6 - Сигнал зміни температури θ
- 7 - Сигнал натискання кнопки «Стоп»
- 8 - Сигнал від автоматичного вимикача двигуна M1

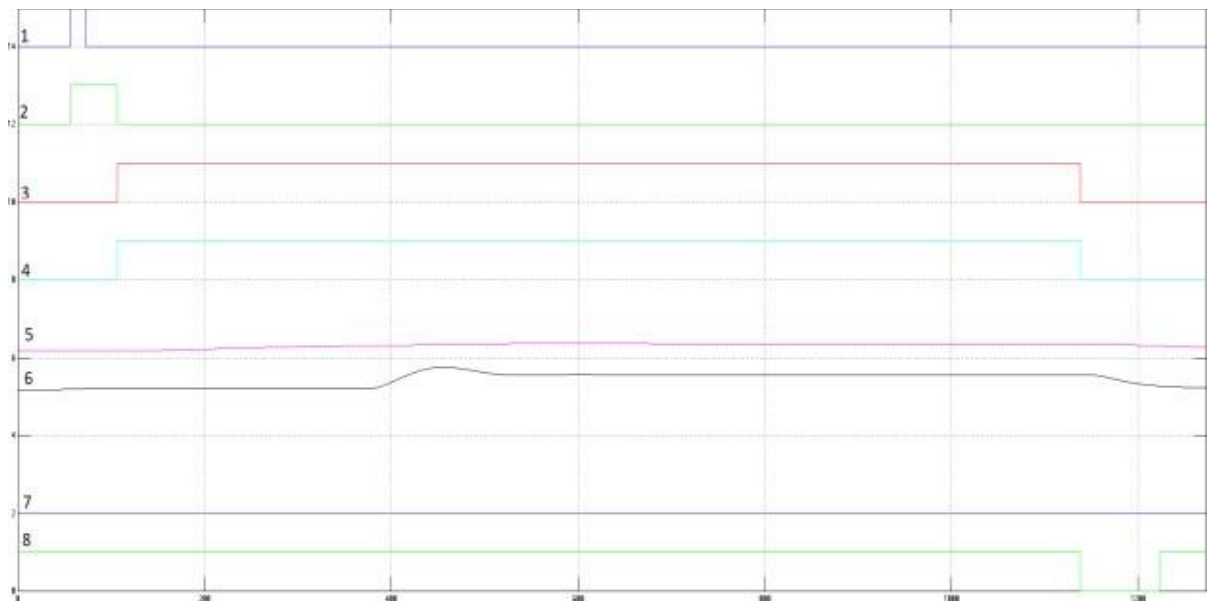


Рис. 4.15 – Діаграма роботи системи керування в аварійному режимі

- 1 - Сигнал натискання кнопки «Пуск»
- 2 - Сигнал спрацьовування ППЗС
- 3 - Сигнал спрацьовування двигуна М1
- 4 - Сигнал спрацьовування двигуна М2
- 5 - Сигнал зміни вологи
- 6 - Сигнал зміни температури θ
- 7 - Сигнал натискання кнопки «Стоп»
- 8 - Сигнал від автоматичного вимикача двигуна М1

4.6. Висновки за розділом

У результаті виконання даного розділу для розглянутого технологічного процесу розроблено регламенти функціонування, а також алгоритми пуску та зупинки процесу визрівання сирів у штатному й аварійному режимах. Побудовано функціональну логічну схему системи керування та реалізовано її модель у середовищі MATLAB.

Отримані результати моделювання свідчать, що розроблені алгоритми керування, а також динамічні характеристики системи автоматичного керування достатньо адекватно відображають реальний перебіг технологічного процесу.

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 та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення.

Визрівання сирів є завершальним етапом їх виробництва та здійснюється у спеціалізованих камерах у кілька стадій. Залежно від виду сиру, параметри мікроклімату в камерах (температура та відносна вологість) можуть істотно відрізнятися.

Підвищення температури повітря сприяє активізації розвитку мікрофлори, тоді як її зниження уповільнює ці процеси. Водночас підвищена вологість повітря може призводити до розвитку плісняви та деформації сирних головок, а недостатня вологість — до збільшення втрат маси внаслідок усушки.

Для забезпечення необхідних умов визрівання камери обладнуються системами кондиціонування повітря, до складу яких входять центральний кондиціонер, локальні нагрівальні елементи, повітропроводи та інші допоміжні компоненти.

Датчики та виконавчі механізми встановлюються безпосередньо в камері визрівання та в елементах системи кондиціонування. Інші технічні засоби системи керування, а також автоматизоване робоче місце оператора-технолога, розміщуються в окремому приміщенні, яке не належить до пожежо- та вибухонебезпечних зон і характеризується температурою 18–25 °С та відносною вологістю 60–80%.

«Правила улаштування електроустановок» визначають:

- 5 відкрита, або зовнішня, електроустановка

Електроустановка, не захищена будівлею від атмосферного впливу. Електроустановки, захищені тільки навісами, сітчастими огорожами тощо, розглядають як зовнішні

- 6 сухе приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря не перевищує 60 %. За відсутності в такому приміщенні умов, наведених у 10–12, воно називається нормальним

- 7 вологе приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря є більше ніж 60 %, але не перевищує 75 %

- 8 сире приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря тривалий час перевищує 75 %

- 9 особливо сире приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря наближена до 100 % (стеля, стіни, підлога і предмети, що є в приміщенні, покриті вологою)

- 10 жарке приміщення

Приміщення, в якому під впливом різних теплових випромінювань температура перевищує постійно або періодично (понад 1 добу) + 35 °C (наприклад, приміщення із сушарками, сушильними і випалювальними печами, котельні тощо)

- 11 запилене приміщення

Приміщення, в якому за умовами виробництва виділяється технологічний пил у такій кількості, що він може осідати на проводах, проникати всередину машин, апаратів тощо. Запилені приміщення поділяються на приміщення зі струмопровідним пилом і приміщення з неструмопровідним пилом.

- 12 приміщення з хімічно активним або органічним середовищем

Приміщення, в якому постійно або протягом тривалого часу є присутніми агресивні пари, гази, рідини, утворюються відкладення або цвіль, що руйнують ізоляцію і струмопровідні частини електроустаткування.

До вище сказаної класифікації, приміщення з агрегатом можна віднести до сирого приміщення в якому відносна вологість повітря тривалий час перевищує 75 % Щодо небезпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

а) приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють

підвищену або особливу небезпеку (див. підпункти б), в);

б) приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю в них

однієї з умов, що створює підвищену небезпеку:

1) вологості або струмопровідного пилу;

2) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);

3) високої температури (див. 10);

4) можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів тощо, які мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого;

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

- 1) особливої вологості (див. 9);
- 2) хімічно активного або органічного середовища (див. 12);
- 3) одночасно двох або більше умов підвищеної небезпеки

Відповідно до введеної класифікації камеру визрівання сиру слід віднести до приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку.

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

вибухопожежої небезпеки.

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

Вибухонебезпечна зона класу 0 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище присутнє постійно або протягом тривалого часу.

Вибухонебезпечна зона класу 0 згідно з вимогами даного розділу може мати місце тільки в межах корпусів технологічного обладнання.

Вибухонебезпечна зона класу 1 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи (тут і далі нормальна робота — ситуація, коли установка працює відповідно до своїх розрахункових параметрів).

Вибухонебезпечна зона класу 2 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго. У цих випадках можливі аварії катастрофічних розмірів (розрив трубопроводів високого тиску або резервуарів значної місткості) не повинні розглядатися під час проектування електроустановок.

Частоту виникнення і тривалість вибухонебезпечного газо-, пароповітряного середовища визначають за правилами (нормами) відповідних галузей промисловості. Вибухонебезпечна зона класу 20 — простір, у якому під час нормальної експлуатації вибухонебезпечний пил у вигляді хмари присутній постійно або часто в кількості, достатній для утворення небезпечної концентрації суміші з повітрям, і (або) простір, де можуть утворюватися пилові шари непередбаченої або надмірної

товщини. Звичайно це має місце всередині обладнання, де пил може формувати

вибухонебезпечні суміші часто і на тривалий термін.

Вибухонебезпечна зона класу 21 — простір, у якому під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилу у вигляді хмари в кількості, достатній для утворення суміші з повітрям вибухонебезпечної концентрації.

Ця зона може включати простір поблизу місця порошкового заповнення або осідання і простір, де під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилових шарів, які можуть утворювати небезпечну концентрацію вибухонебезпечної пилоповітряної суміші.

Вибухонебезпечна зона класу 22 — простір, у якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з'являтися не часто й існувати недовго або в якому шари вибухонебезпечного пилу можуть існувати й утворювати вибухонебезпечні суміші в разі аварії.

Ця зона може включати простір поблизу обладнання, що утримує пил, який може вивільнятися шляхом витоку і формувати пилові утворення.

Відповідно до введеної класифікації слід віднести до вибухонебезпечної зона класу 22 — простір, у якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з'являтися не часто й існувати недовго або в якому шари вибухонебезпечного пилу можуть існувати й утворювати вибухонебезпечні суміші в разі аварії.

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

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

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

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

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

Для камери визрівання сиру слід вибрати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Без засобів вибухозасобів».

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

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

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

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

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

Відповідно до введеної класифікації камеру визрівання сиру слід віднести до пожежонебезпечної зони класу П-III — простір у приміщенні, у якому можуть накопичуватися і виділятися горючий пил або волокна

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

Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин у залежності від класу пожежонебезпечної зони

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

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

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

Для камери визрівання сиру слід вибирати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP44.

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

Для контролю та сигналізації досягнення мінімального тиску холодної та гарячої води здійснюють реле тиску типу RT 116 Danfoss, діапазон: 0-1 кПа, ступінь захисту IP 66.



Рис.5.1- Реле тиску типу RT 116 Danfoss

Таблиця 5.1 технічні характеристики реле тиску типу RT 116 Danfoss

Назва	Реле тиску RT
Температура навколишнього середовища	В загальному -50 – 70 °C Версія з діафрагмою -10 – 70 °C Схвалено TÜV -40 – 70 °C
Температура середовища	В загальному -50 – 100 °C Версія з діафрагмою -10 – 90 °C Схвалено TÜV -40 – 150 °C
Система контактів	Однополюсний перемикач (SPDT), див. Малюнок 22
Навантаження на контакти	Змінний струм: AC-1: 10A, 400 ВA C-3: 4A ⁽¹⁾ , 400 ВAC -15: 3A ⁽¹⁾ , 400 В
Матеріал контактів: AgCdO	Постійний струм: DC-13: 12 Вt, 220 В (див. Малюнок 23)
Спеціальна контактна система	див. Запчастини та аксесуари
Кабельний ввід	2 PG 13.5 для 6 – 14 мм діаметр кабеля
Твердий / багатожильний	0.2 – 2.5 мм ²
Гнучкий, без наконечників	0.2 – 2.5 мм ²
Гнучкий, з наконечниками	0.2 – 1.5 мм ²
Момент затягування	макс. 1.5 Нм
Корпус	IP66 відповідно до IEC 529 і EN 60529. Блоки постачаються із зовнішнім скриднанням IP54. Корпус термостата виготовлений з бакеліту відповідно до DIN 53470. Кришка виготовлена з поліаміду.

Для вимірювання температури повітря в діапазоні 0...60 °C у камерах нагріву та охолодження використовуються відповідні засоби контролю, які забезпечують індикацію поточних значень температури, сигналізацію досягнення мінімально допустимих рівнів, а також нормування сигналів для подальшої передачі до персонального комп'ютера.

З урахуванням робочого діапазону температур доцільно застосовувати датчики типу ТСМ. Як вторинні прилади рекомендується використовувати індикатори серії ІТМ виробництва «Мікрол», які забезпечують відображення, сигналізацію та формування уніфікованих сигналів.

Датчики температури встановлюються безпосередньо у контрольованих точках за допомогою різьбового з'єднання.



Рис 5.2 Термометр опору мідний TCM-1-4-50M-B-D

Основні технічні характеристики: - Вимірювальний елемент: Pt100

- Тип підключення : 2-проводний.
- Ліміт використання класа точності в співвідношенні з EN 60751: Клас AA - Конструкція чутливого елементу : дротяний (-50...+160°C).
- температурний переобразувач моделі T91.20
- Вихід з температурного переобразувача : 4...20мА

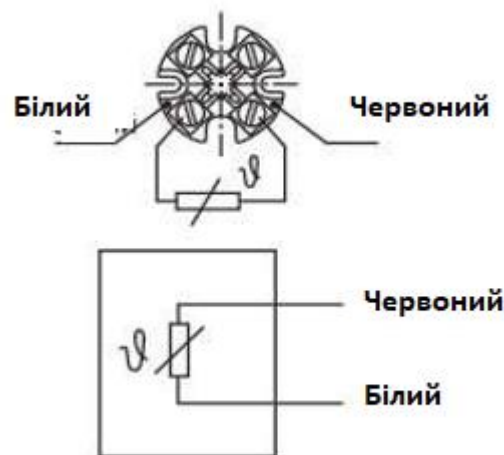


Рис.5.3 Електричне підключення термометра опору

Для вимірювання та контролю відносної вологості в камері визрівання сиру виконується датчик вологості RIXEN MTR-740A, діапазон виміру 0...100%.



Рис.5.4 Датчик вологості RIXEN MTR-740A

Таблиця 5.2 технічні характеристики датчика вологості Rixen MTR-740A

Діапазон вимірювання	0,0...100,0 %
Точність (при температурі 25 °С)	деревина: $\pm 1,5$ % за різними матеріалами різні значення
Сервісний діапазон температур датчика і кабелю	-20...+200 °С
Довгострокова стабільність	краще, ніж 1 % на рік (типова)
Температурна компенсація	$\pm 0,02$ %/°С
Відгук	приблизно 3 секунди
Вихід	4...20 мА / 0...100 % 0...2 VDC / 0...100 %
Напруга живлення	12...40 В постійний струм >250 мА
Умови експлуатації	температура: -40...+60 °С (-40...+140 °F)
Корпус / Захист	водонепроникний корпус з ABS пластику (IP 65), датчик: SUS304 або SUS316
Вага	приблизно 190 г (без датчика і кабелю)
Габарити	пристрій: $\varnothing 90 \times 54$ (Н) мм датчик: $\varnothing 2,5 \times 25$ (L) мм *довжина датчика і довжина кабелю може варіюватися

5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

Для ручного керування виконавчими механізмами застосовуються блоки БРУ-7



Рис.5.5 Блок ручного управління БРУ-7

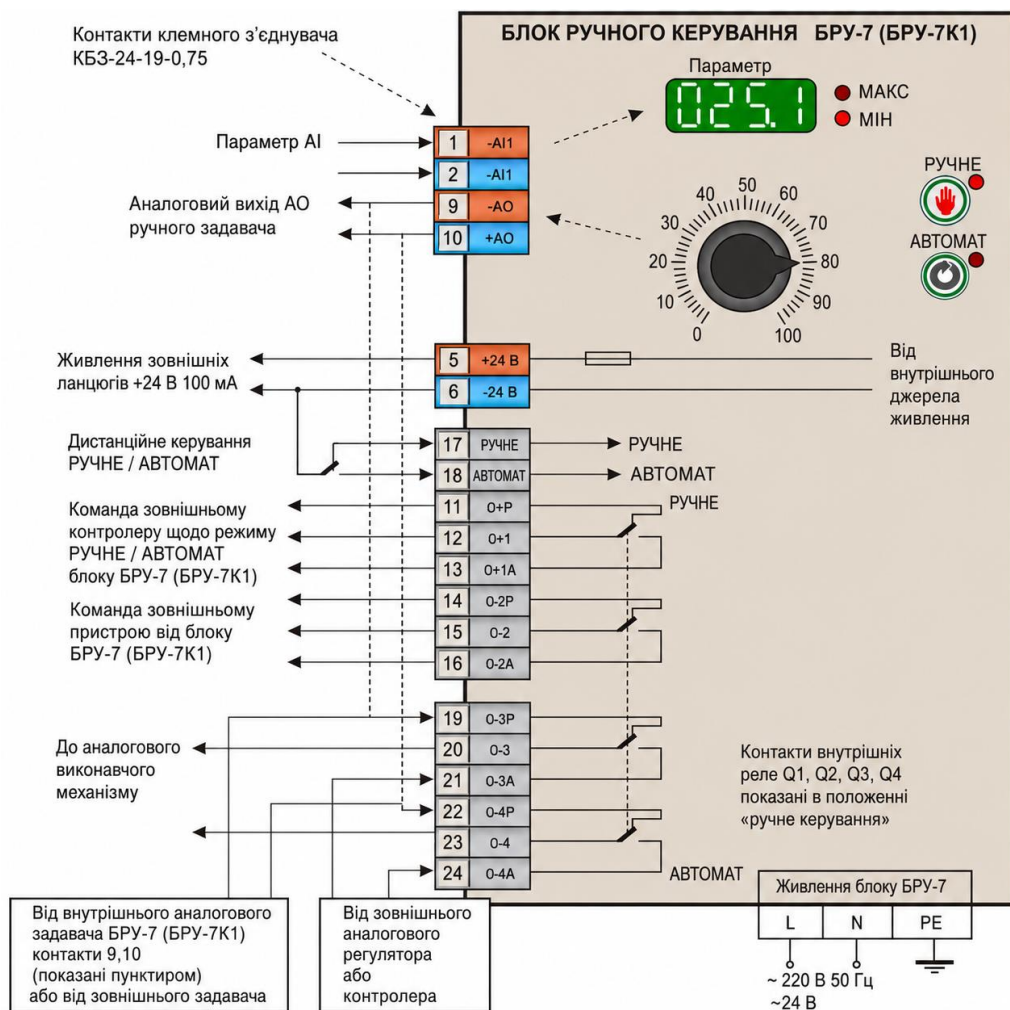


Рис.5.6 Схема підключень блоку ручного управління БРУ-7

Для контролю подачі холодоагенту та теплоагенту використаємо привід для керуванням сидельними клапанами BM Belimo SVC24A-SZ-TPC



Рис.5.7 – Сідельний клапан BM Belimo SVC24A-SZ-TPC

Таблиця 5.3 Технічні характеристик датчика вологості Rixen MTR-740A

Діапазон напруги живлення	19,2...28,8 В~ / 21,6...28,8 В=
Розрахункова потужність	3 ВА
Робочий діапазон	0,5...10 В=
Сигнал зворотнього зв'язку U	0,5...10 В= при макс 0,5 мА
Керуючий сигнал Y	0...10 В= (при вхід. опорі 100 кОм)
Електричне підключення	Клемна колодка (контакти 4 мм ²) и кабель: 1 м , 4 x 0,75 мм ²
Споживана потужність:	
- при русі	1.5 Вт
- при утриманні	0,5 Вт
Функціональні дані	
Зусилля	1000 Н
Хід штока	20 мм
Час ходу штока	150 с/20 мм
Рівень шуму	45 Дб (А)
Індикація положення	Механічний показник 5...15 мм штока
Безпека	
Клас захисту	ІІІ (для низьких напруг)
Електромагнітна сумісність	СЕ у відповідності з 2004/108/ЕС
Ступінь захисту корпусу	IP54
Номінальний імпульс напруги	0,8 кВ
Температура експлуатації	0...+50° С
Температура зберігання	-40...+80° С
Вологість навколишнього середовища	95% отн., без конденсації
Вага	1,34

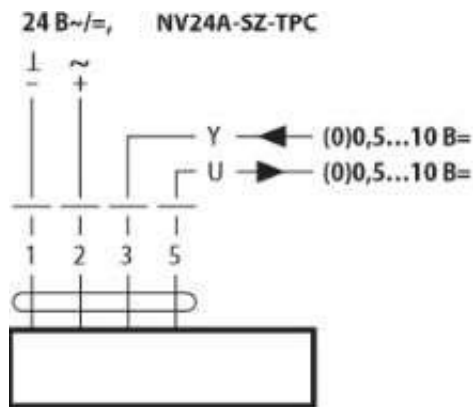


Рис.5.8 – Схема електричного з'єднання

Виконавчий механізм для водопроводу , на який встановлюватиметься сервопривод ВМ Belimo SVC24A-SZ-TPC (35с) є двоходовий сідловий клапан Belimo Н679N , а також для повітряної заслонки D6300W



Рис.5.9 – Двоходовий сідловий клапан Belimo Н679N



Рис.5.10 – Повітряна засувка D6300W

Для подачі води за відсутності водопостачання з водогонну використовується трьохходовий клапан R3015-B1 з приводом ВМ Belimo TR24 (35с)



Рис.5.11 – Триходовий клапан R3015-B1



Рис.5.12 – Привод VM Belimo TR24

Таблиця 5.4 технічні характеристик VM Belimo TR24

Бренд	Belimo
Серія	Belimo TR
Країна реєстрації виробника	Швейцарія
Тип продукції	приводи
Час повороту	90 с
Виконання	без зворотної пружини
Крутний момент	2 Нм
Електроживлення	24 В
Ступінь захисту	IP40
Сфера застосування	Для опалення та охолодження
Призначення	для кульових клапанів
Гарантія	1 рік

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

Для даного технологічного процесу доцільно застосувати централізований принцип побудови технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі. Такий підхід передбачає використання мікропроцесорного контролера, який виконує функції програмно-логічного оброблення (ПЗО) та реалізує алгоритми керування. При цьому автоматизоване робоче місце оператора може бути реалізоване на базі панелі оператора або промислового комп'ютера.

На основі аналізу технологічної схеми та визначених функцій системи керування формується перелік параметрів, що підлягають обробці. З цією метою складено таблицю (табл. 5.1), у якій наведено сигнали, що вводяться до контролера та формуються ним на виході.

Таблиця 5.5. 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 в камері визрівання	T _{вс}	A	I	(0-20 мА)	AI1
2	Відносна вологість в камері визрівання	Ф _{вс}	A	I	(0-20 мА)	AI2
3	Температура повітря на виході з калориферу	T _н	A	I	(0-20 мА)	AI3
4	Температура зовнішнього повітря	T _{зп}	A	I	(0-20 мА)	AI4
5	Керуюча дія ступінь відкриття клапану подачі холодної води	U_1	A	O	(0-10 В)	AO1
6	Керуюча дія ступінь відкриття клапану подачі гарячої води	U_2	A	O	(0-10 В)	AO2
7	Керуюча дія ступінь відкриття клапану рециркуляції повітря	U_3	A	O	(0-10 В)	AO3

8	Сигнал датчика контролю тиску холодної води у мережі	Pv_cool	D	I	24 V DC	DI1
10	Сигнал датчика контролю тиску гарячої води у мережі	Pv_hot	D	I	24 V DC	DI2
11	Сигнал датчика перепаду тиску на вентиляторі	dP_v1	D	I	24 V DC	DI3
13	Сигнал керування двигуном вентилятору M1	M1_c	D	O	«відкритий колектор»	DO1
14	Сигнал с дод. контакту пускача двигуна M1	M1_KM	D	I	24 V DC	DI4
15	Сигнал керування двигуном насосу M2	M2_c	D	O	«відкритий колектор»	DO2
16	Сигнал с дод. контакту пускача двигуна M2	M2_KM	D	I	24 V DC	DI5
17	Автоматичний вимикач M1	QF1	D	I	24 V DC	DI6
18	Автоматичний вимикач M2	QF2	D	I	24 V DC	DI7
19	Локальний режим M1	SL1	D	I	24 V DC	DI8
20	Локальний режим M2	SL2	D	I	24 V DC	DI9
21	Сигнал керування клапаном подачі води з системи K1	Kv1_c	D	O	«відкритий колектор»	DO3
22	Сигнал датчика контролю закриття клапана K1	Kv1_FB	D	I	24 V DC	DI10
25	Сигнал керування звук. сигнал.	HA	D	O	«відкритий колектор»	DO4
26	Сигнал датчика контролю закриття дверей камери	SD_FB	D	I	24 V DC	DI11

Кількість каналів вводу\виводу:

AI – 4 , AO – 3, DI – 11, DO - 4

5.5. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

Технічну структуру системи управління розробимо на базі розподіленої системи WAGO I/O.

Для реалізації алгоритмів керування в модулях ПЗО контролера повинні бути передбачені 6- аналогових входів, 2-аналогових виходи, 12-дискретних входів і 5- дискретних виходів.

Виходячи із сформованої таблиці 6.1, для реалізації алгоритмів керування скористаємося контролером WAGO PFC200 750-8212 з модулями ПЗО: AI WAGO 750-455, AO WAGO 750-559, DI WAGO 750-1400 та DO WAGO 750-1504.

Центральний процесор WAGO PFC200 750-8212 характеризується наступними показниками: мікропроцесор Cortex A8 1 ГГц, програмна сумісність з WAGO-I/OPRO

V2.3 та з CODESYS V3.5, годинник реального часу, Основна пам'ять (RAM) 512 Мб, Внутрішня пам'ять (флеш) 4096 Мб, інтегрований Web-інтерфейс. Загальний вид контролера та схема його підключення наведені на рис.6.1.

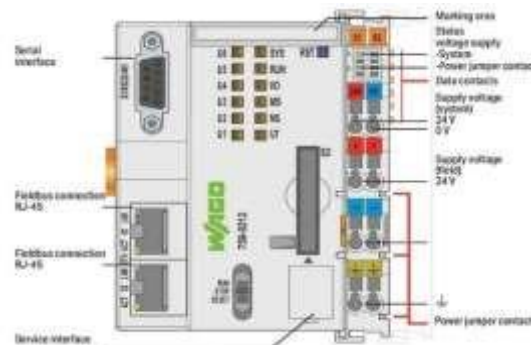


Рис. 5.13 – Загальний вигляд контролера WAGO 750-8212.

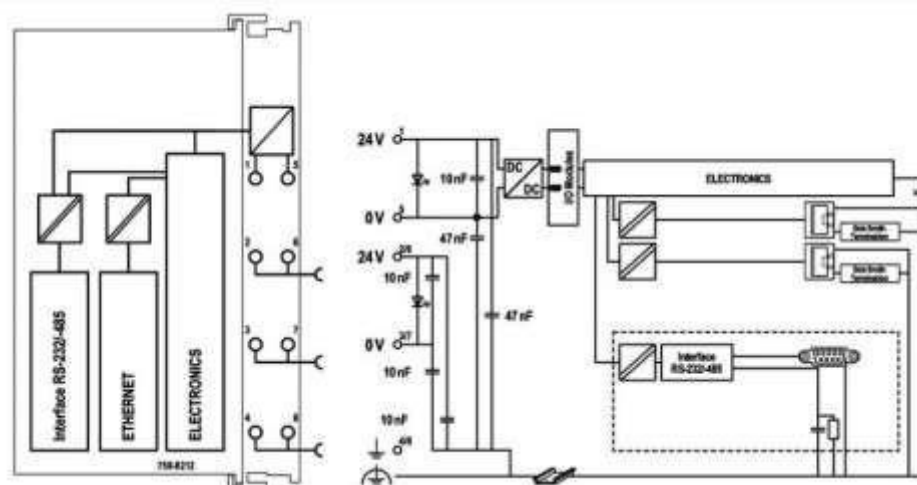


Рис. 5.14 – Схема підключення контролера WAGO 750-8212.

Для введення аналогових сигналів у контролер будемо використовувати 8-канальний модуль аналогового введення WAGO 750-496 (рис. 6.3). Модуль аналогового введення обробляє сигнали зі стандартизованим розміром 0/4 ... 20 мА.

Вхідний сигнал гальванічно відокремлений від системної шини та обробляється з роздільною здатністю 12 біт. Для живлення використовується напруга внутрішньої системної шини. Вхідні канали модуля мають спільний потенціал заземлення.

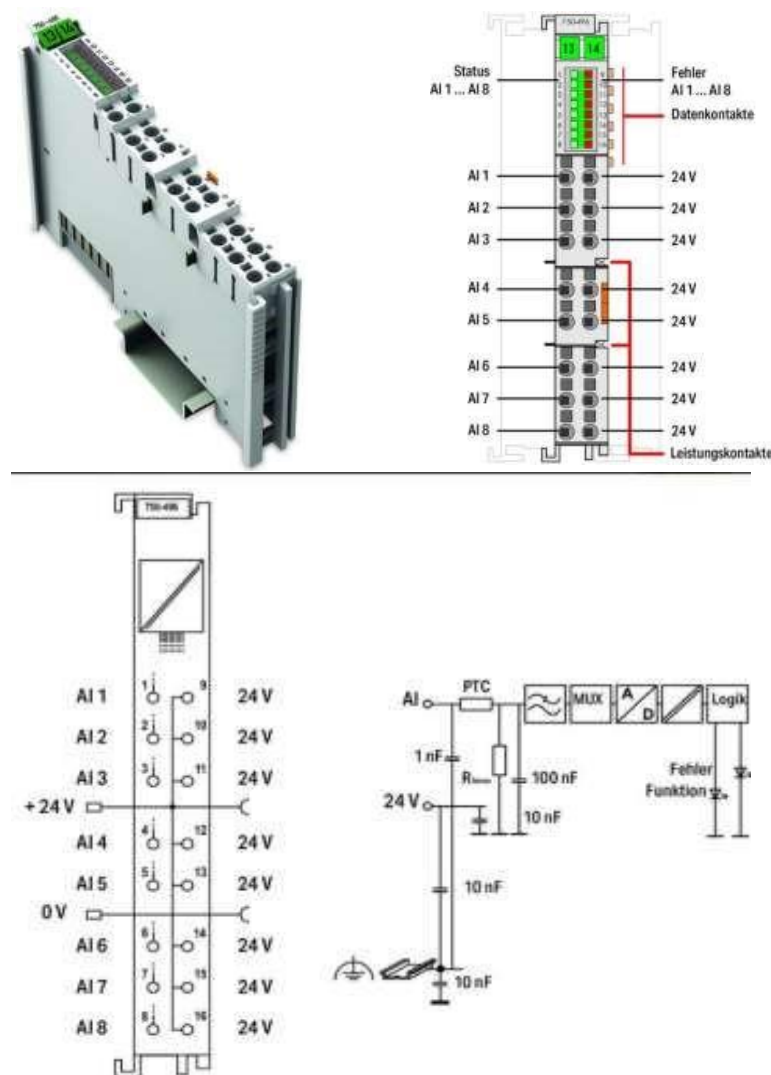


Рис. 5.15 – Загальний вигляд та схема підключення модуля ПЗО WAGO 750-496.

Для формування аналогових керуючих сигналів на виході контролера доцільно використовувати чотириканальний модуль аналогового виводу WAGO 750-559 (рис. 6.4).

Даний модуль забезпечує генерацію стандартних аналогових сигналів у діапазоні 0–10 В. Вихідні сигнали є електрично ізольованими та формуються з роздільною здатністю 12 біт, що дозволяє забезпечити достатню точність керування виконавчими механізмами.

Живлення модуля здійснюється від внутрішнього джерела системи, що спрощує його інтеграцію до складу контролерної мережі. Всі вихідні канали мають спільний потенціал заземлення.

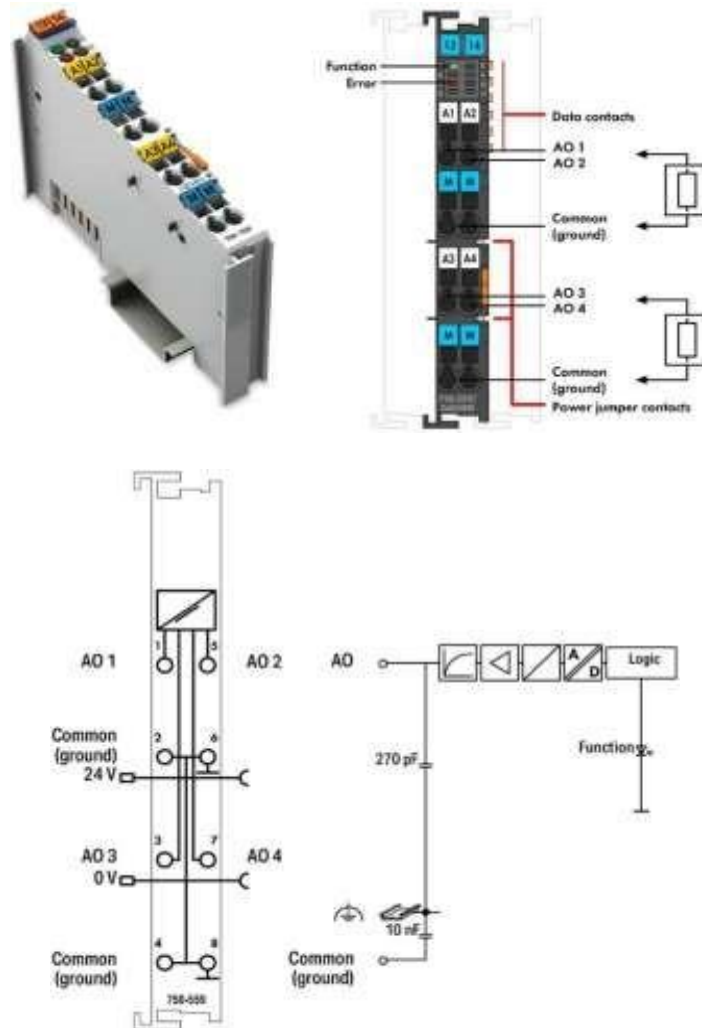


Рис. 5.16 – Загальний вигляд та схема підключення модуля ПЗО WAGO 750-559.

Для вводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати один 16-канальний модуль дискретного вводу WAGO 750-1400 (рис. 6.5).

Цей цифровий вхідний модуль має 16 каналів завширшки всього 12 мм (0,47 дюйма).

Він отримує двійкові сигнали керування від цифрових польових пристроїв (наприклад, датчиків, кодерів, перемикачів або датчиків наближення). Модуль

підключається до електронних модулів за допомогою 20-контактного стрічкового кабелю. Напруга 24 В подається на електронні модулі через два роз'єми CAGE CLAMP. Кожен вхідний канал має RC-фільтр шумозаглушення з постійною часу 3,0 мс. Зелений світлодіод вказує на стан сигналу кожного каналу. Польовий і системний рівні електрично ізольовані.

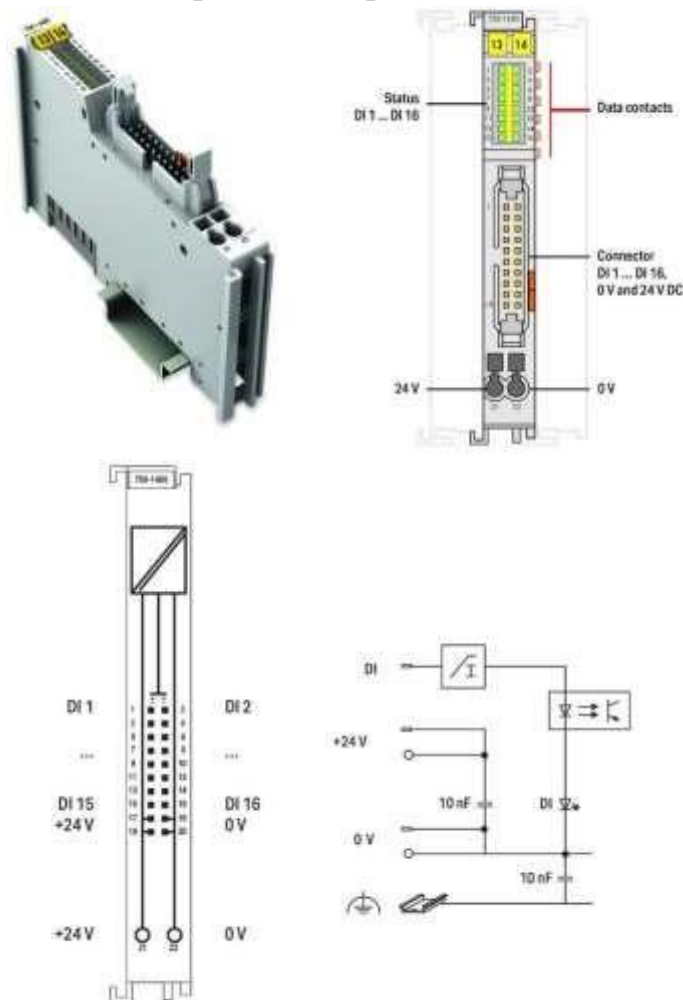


Рис. 5.17 – Загальний вигляд та схема підключення модуля
ПЗО WAGO 750-1400

Для виводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати 8-канальний модуль дискретного виводу WAGO 750-530 (рис. 6.6). Цей цифровий вихідний модуль має 8 каналів шириною всього 12 мм (0,47 дюйма). Він передає двійкові керуючі сигнали від пристрою автоматизації до підключених виконавчих механізмів (наприклад, магнітних клапанів, контакторів, передавачів, реле або інших електричних навантажень). Усі виходи стійкі до короткого замикання. Польовий та системний рівні гальванічно ізольовані. Технологія підключення: введення/виведення CAGE CLAMP, що дозволяє підключати суцільні провідники, просто просуваючи їх. Зелений світлодіод вказує на стан сигналу кожного каналу.

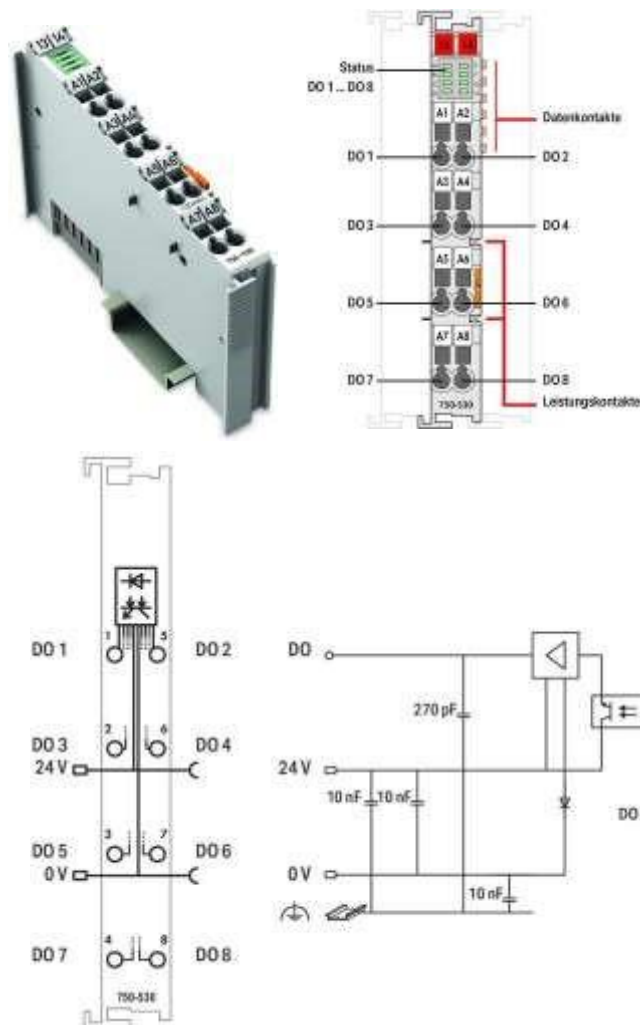


Рис. 5.18 – Загальний вигляд та схема підключення модуля ПЗО WAGO 750-530.

Додатково нам знадобиться кінцевий модуль шини 750-600. Зв'язок контролера з комп'ютером здійснюється за допомогою інтерфейсу Ethernet.

Враховуючи обраний контролер, модулі ПЗО до нього, та список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролеру схема технічною структурою мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування прийме наступний вигляд. (рис. 6.7).

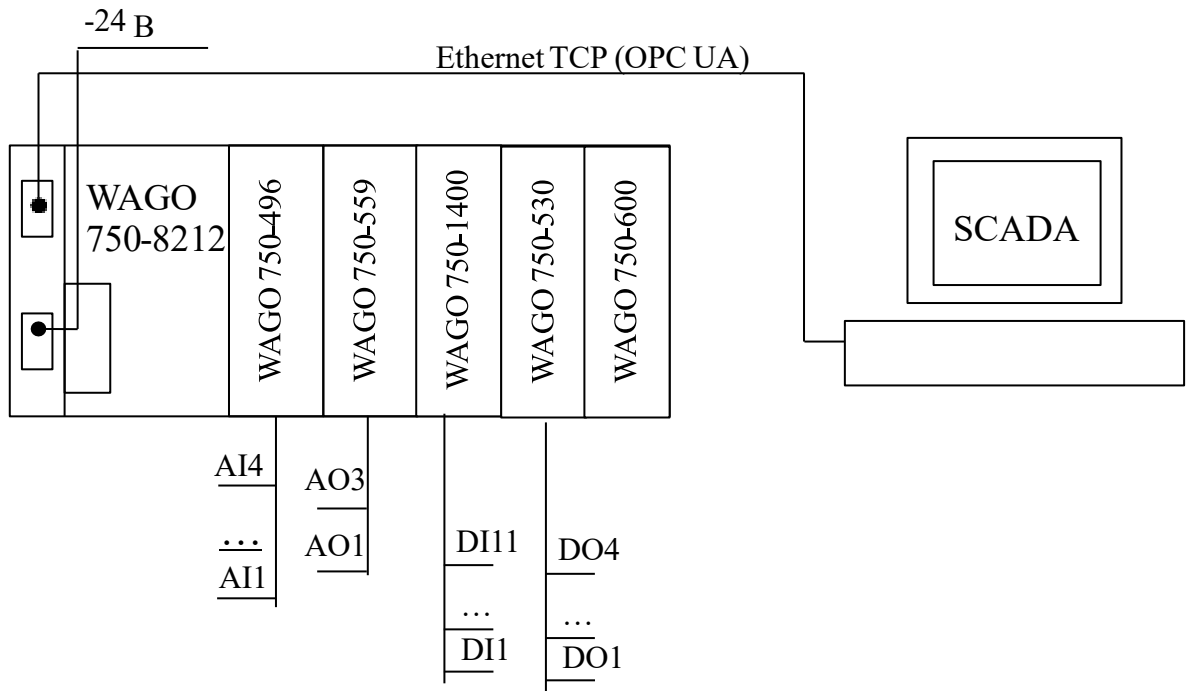


Рис. 5.19 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування процесом визрівання сирів.

Для виводу SCADA системи в операторському пункті використовуватись буде Персональний комп'ютер в комплекті Dell 9020-4507



Рис. 5.20 Персональний комп'ютер в комплекті Dell 9020-4507

Технічні характеристики :

Модель: Dell OptiPlex 9020 SFF

Материнська плата: 4nd Intel Q87

Процесор: Intel Core i5-4570 (4 ядра по 3.2 - 3.6 GHz), 6 MB Smart Cache

Оперативна пам'ять: 8 GB DDR3 **Постійна пам'ять:** 240 GB SSD

Графіка: інтегрована Intel HD Graphics 4600 (до 1792 MB з ОЗП)

Порти: 6x USB 2.0, 4x USB 3.0, 2x PS/2, 1x VGA, 1x COM-порт, 2x DisplayPort, 4x Audio, 1x LAN (RJ-45)

5.6 Висновки за розділом

В даному розділі було проаналізовано умови виробничого середовища, та параметри технологічного процесу, які вимірюються та регулюються. Був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом вистоявання сиру в камері визрівання сиру . Датчики та виконавчі механізми по степені захисту і точності вимірювальних змінних відповідають вимогам.

РОЗДІЛ 6

ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, КОНТРОЛЕРА І МЕРЕЖ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ САК

6.1 Програмне конфігурування контролера та розробка програмного забезпечення системи керування в середовищі CoDeSys.

Першим етапом проведено програмне конфігурування контролера та його модулів ПЗО у середовищі CoDeSys. На рис. 6.1 – 6.3 розкрита процедура конфігурування CPU контролера та його модулів ПЗО для САК процесом визрівання сирів.

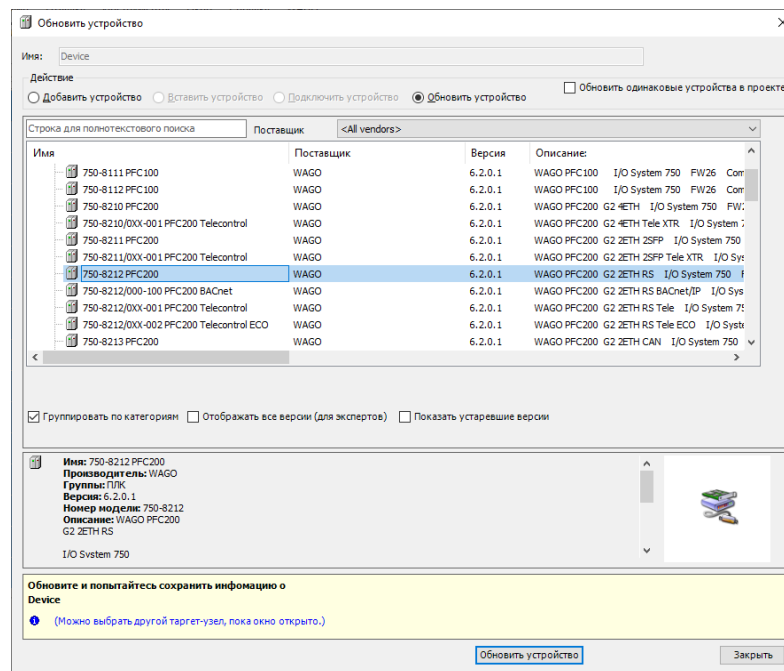
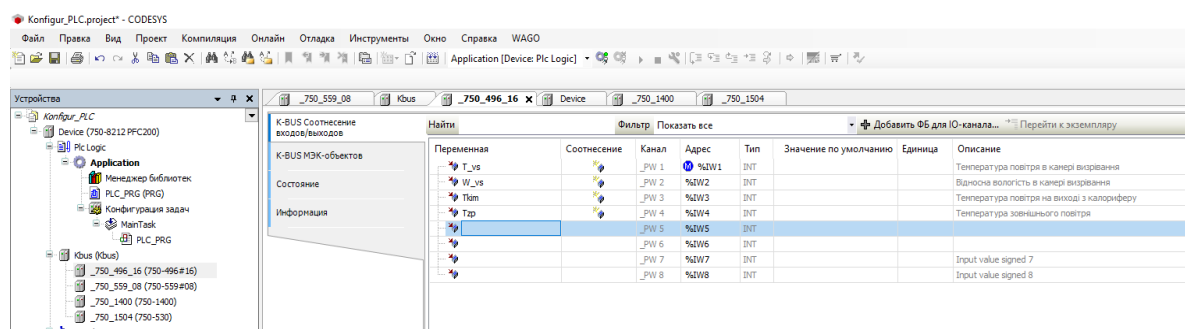
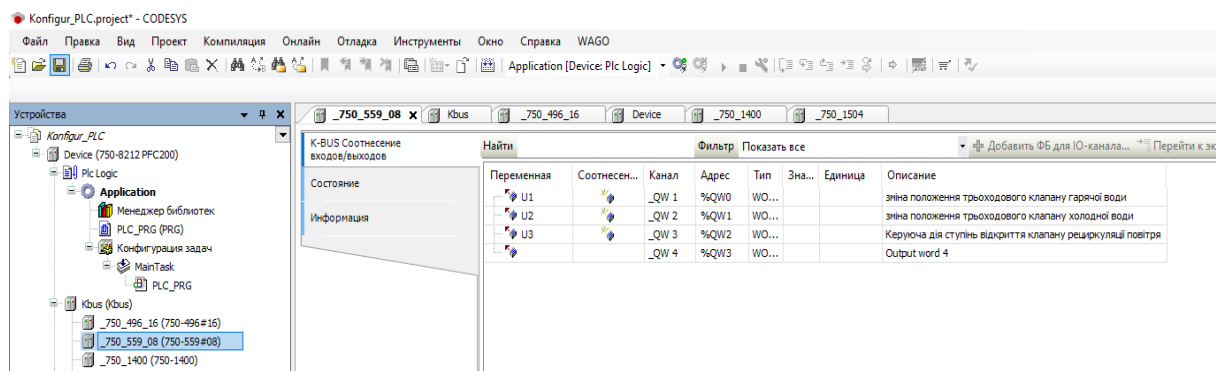


Рис.6.1 – Вікно вибору контролера у середовищі CoDeSys.

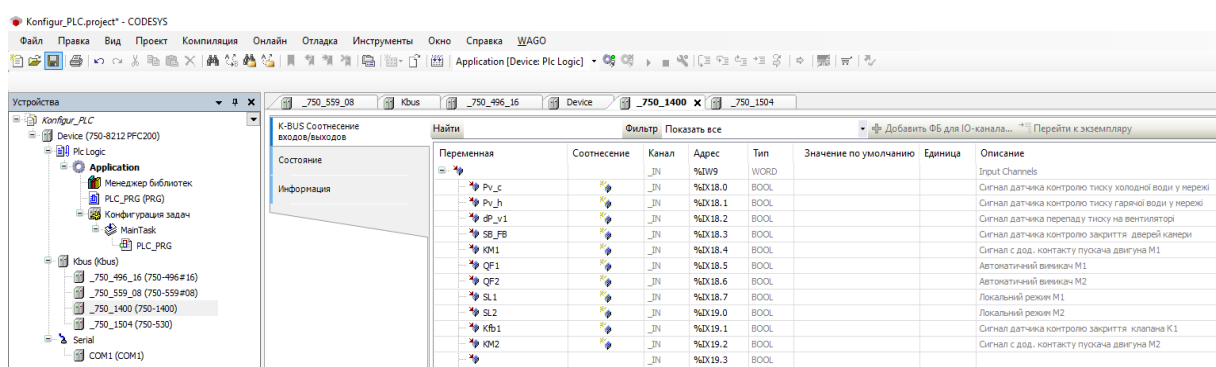


Фрагмент а) для модулю аналогового введения.

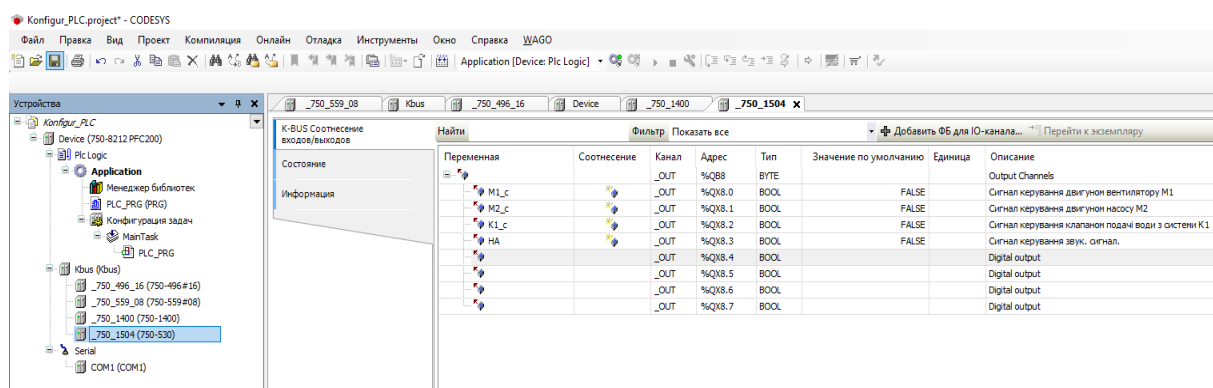


Фрагмент б) для модулю аналогового виведення.

Рис. 6.2 – Фрагменти вікон конфігурування аналогових модулів ПЗО (фрагменти а) та б)) у CodeSys .



Фрагмент а) для модулю дискретного ввода.



Фрагмент б) для модулю дискретного вывода.

Рис. 6.3 – Фрагмент вікон конфігурування дискретних модулів ПЗО (фрагменти а) та б)) у CodeSys.

Завершив конфігурацію переходимо до програмної реалізації алгоритмів керування.

6.2. Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК.

Модель САР температури та відносної вологості в камері визрівання розраховується у програмному модулі POU_100ms, який обчислюється кожну 0.1 секунди. Час обчислення задається при конфігуруванні контролера у розділі «Конфігурація задач» (рис.6.4).

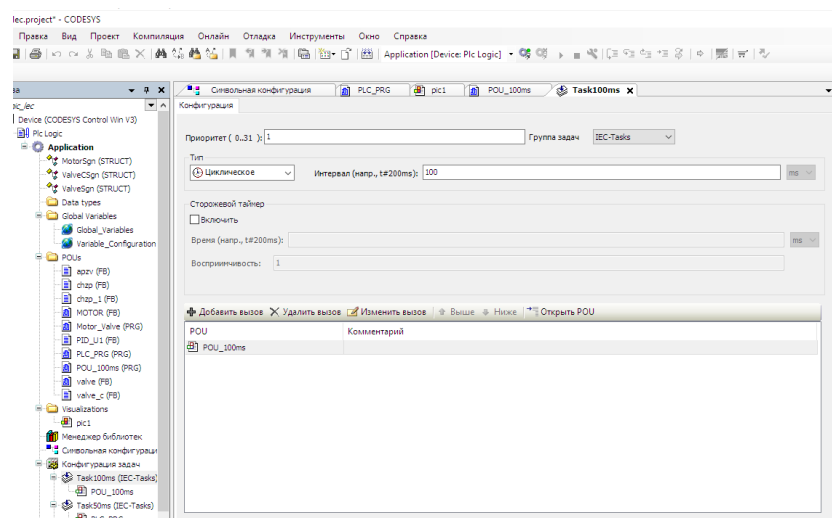


Рис. 6.4 – Загальний вигляд вікна проекту при конфігуруванні задач.

На рис. 6.5, 6.6 представлені фрагменти програм, які реалізують модель об'єкта керування та алгоритми регулювання.

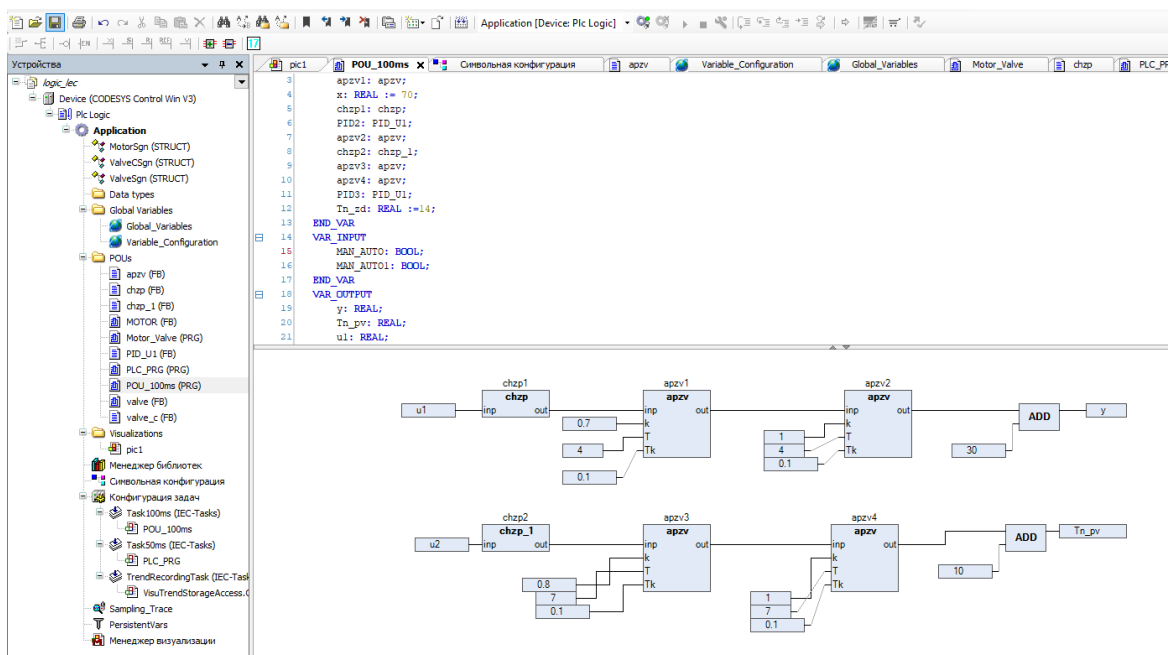


Рис. 6.5 – Фрагмент програми, яка реалізує модель об'єкта керування.

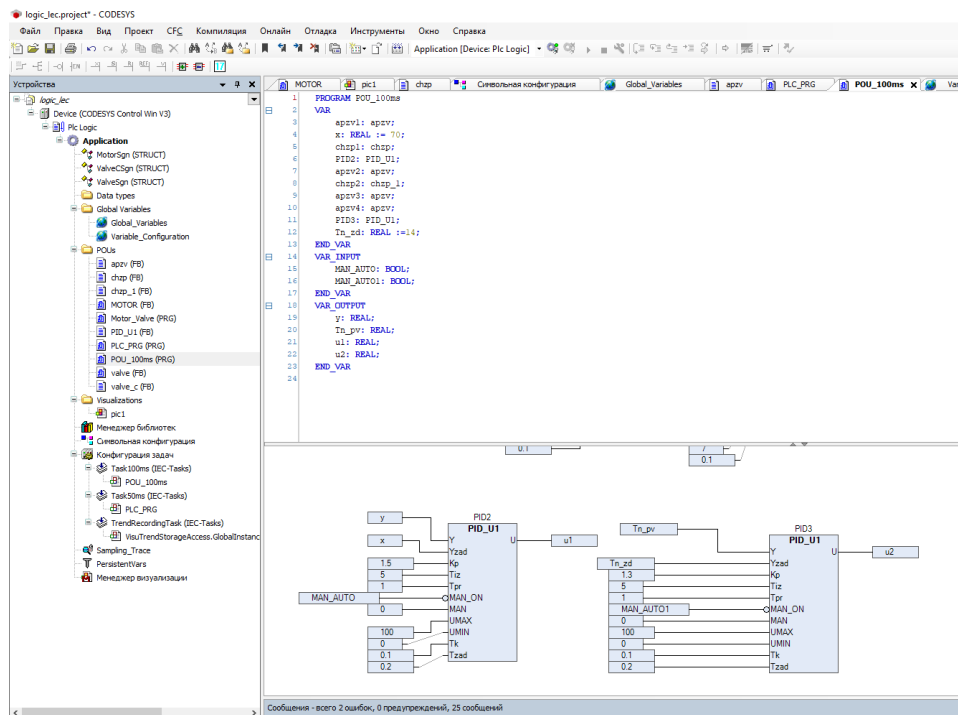


Рис. 6.6 – Фрагмент програми, яка реалізує алгоритми регулювання температури та відносної вологості у камері визрівання сиру.

Для реалізації моделі об'єкта керування використовувались спеціально розроблені функціональні блоки динамічних ланок: ланки запізнення та статичної аперіодичної інерційної ланки першого порядку. На рис. 6.7 та 6.8 представлені фрагменти програм реалізації цих ланок мовою ST.

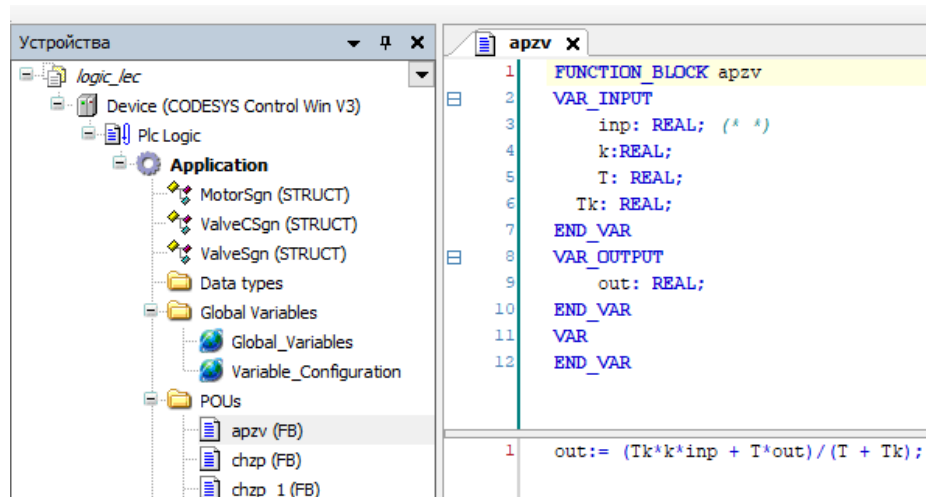


Рис. 6.7 – Фрагмент програми, яка реалізує статичну аперіодичну інерційну ланку першого порядку.

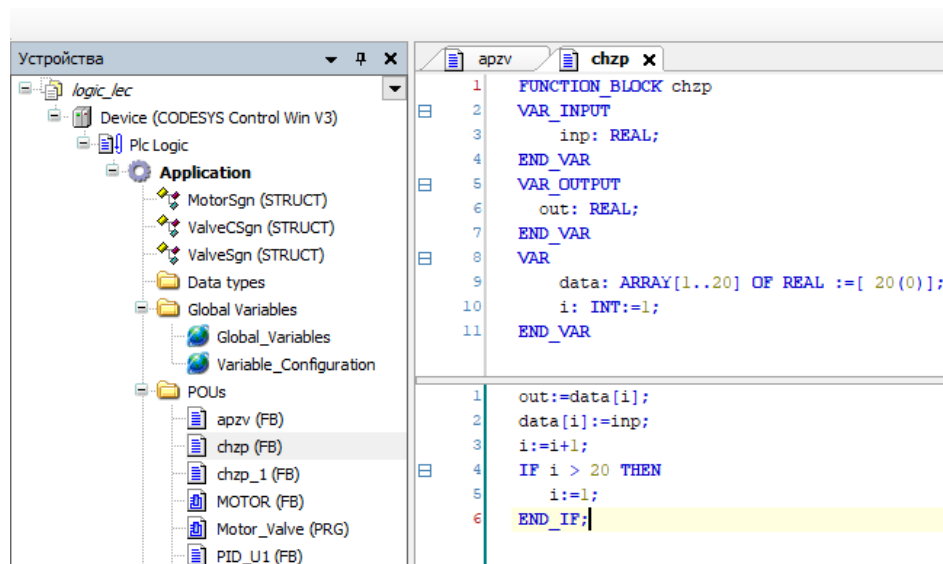


Рис. 6.8 – Фрагмент програми, яка реалізує ланку запізнення.

Для реалізації алгоритмів регулювання температури та відносної вологості в камері використовувався спеціально розроблений функціональний блок ПІД –

регулятору з інерційним задатчиком та переключенням режиму РУЧ/АВТ. Цей блок розроблений мовою ST. На рис. 6.9 представлена внутрішня структура регулятора.

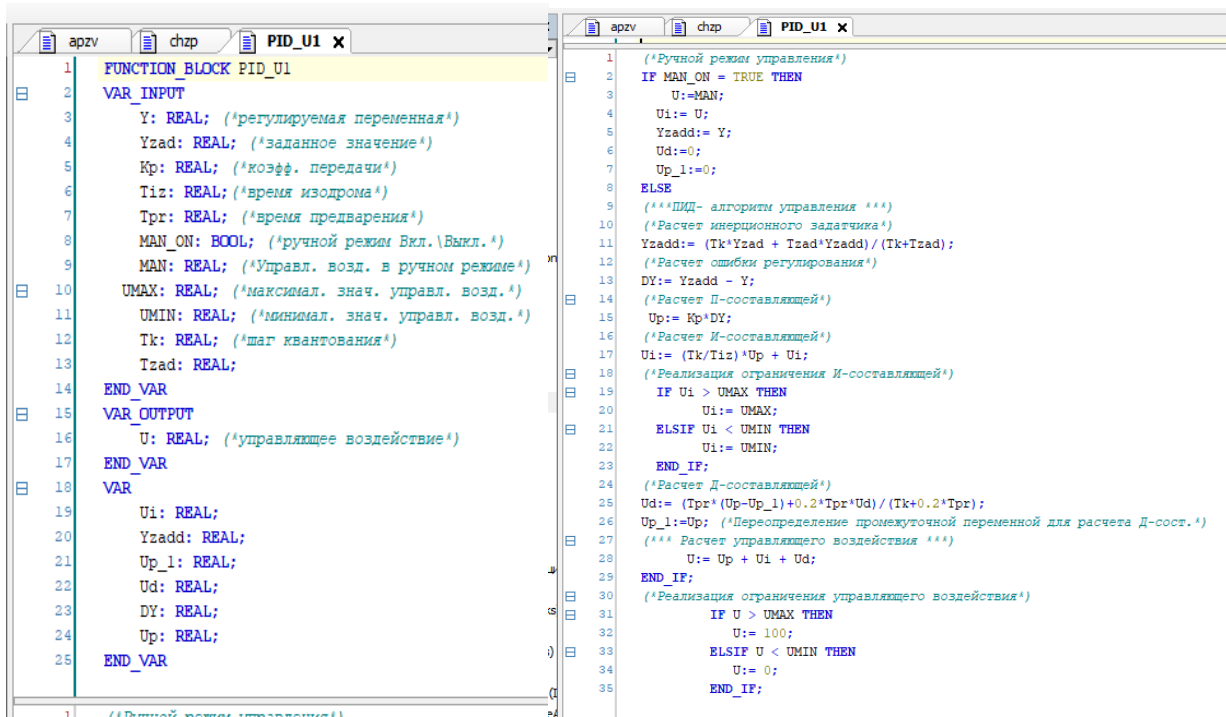


Рис. 6.9 – Вихідний код програми ПІД - регулятора.

На рис. 6.10 наведені спрощена технологічна схема процесу і перехідні характеристики що отримані при тестуванні програм ПІД – регулювання на моделі об'єкту керування.

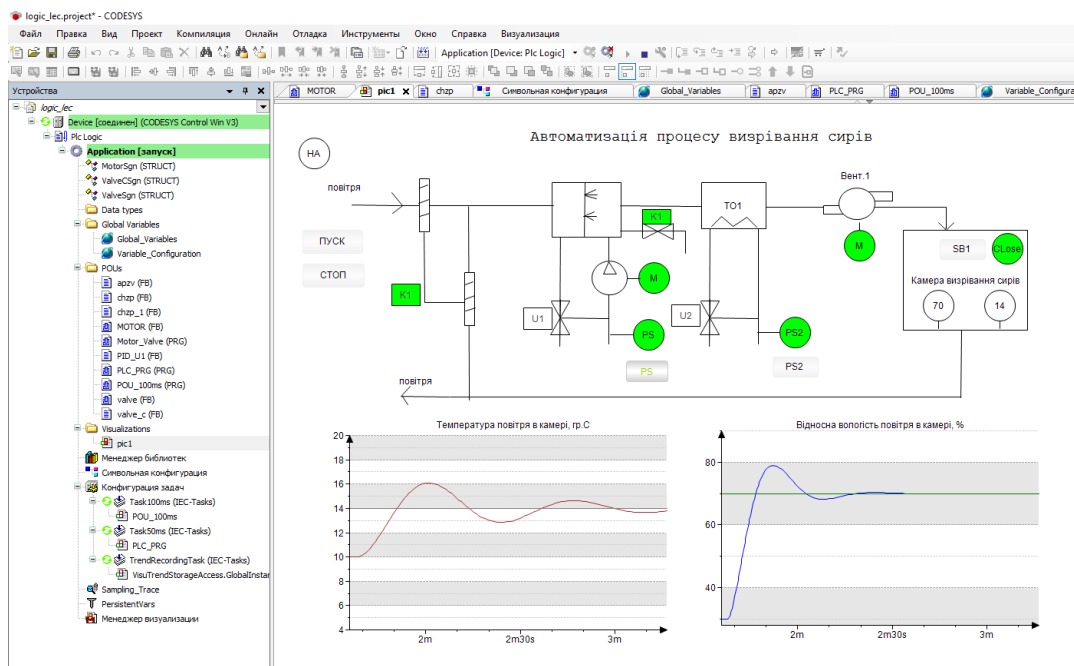


Рис. 6.10 – Приклад роботи програми при тестуванні і відлагодженні алгоритмів регулювання на моделі ОК.

6.3. Програмна реалізація алгоритмів логічного керування

Програмна реалізація алгоритмів логічного керування виконана в програмному модулі PLC_PRG який обчислюється з кроком 0.05с. Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичного пуску та зупинки САК процесом визрівання сиру наведено на рис. 6.11 та 6.12.

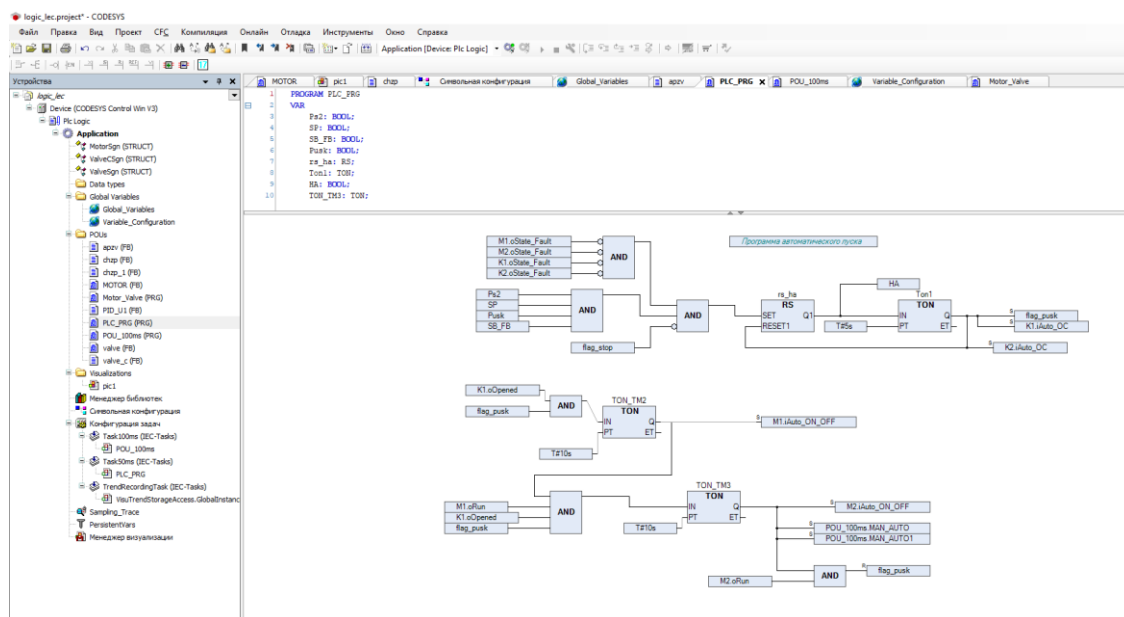


Рис. 6.11 – Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичного пуску.

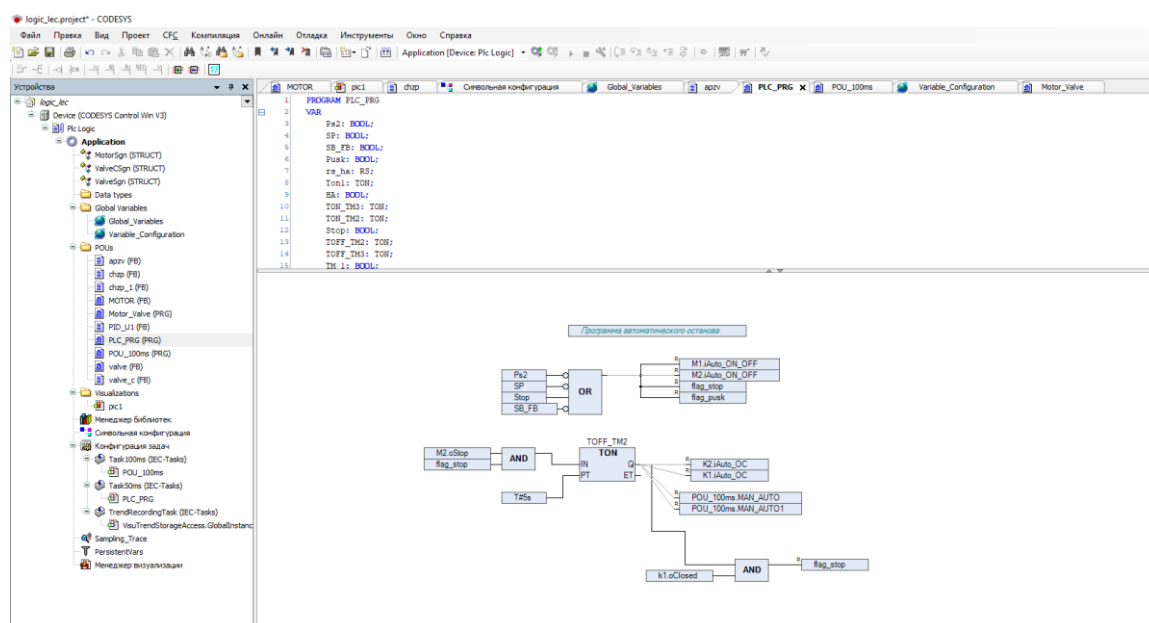


Рис. 6.12 – Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичної зупинки.

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. 6.13)

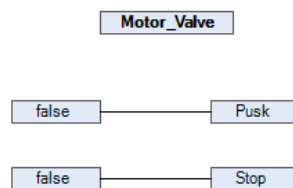


Рис. 6.13 – Фрагмент програми PLC_PRG з викликом модуля Motor_Valve.

Внутрішня структура програмного модуля Motor_Valve наведена на рис. 6.14.

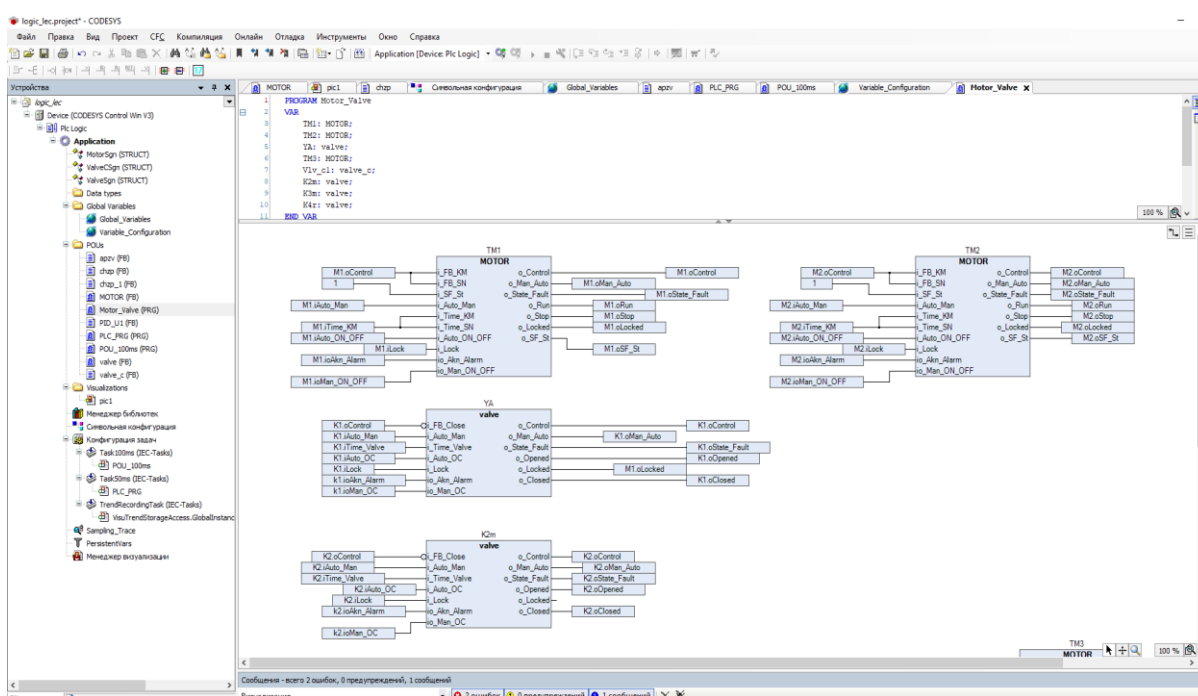


Рис. 6.14 – Фрагмент внутрішньої структури програмного модуля Motor_Valve

Декілька входів та виходів функціональних блоків управління двигунами та клапанами з'єднуються з входами та виходами контролера для управління та аналізу стану двигуна. Внутрішня структура функціональних блоків керування двигуном на рис. 6.15 та 6.16.

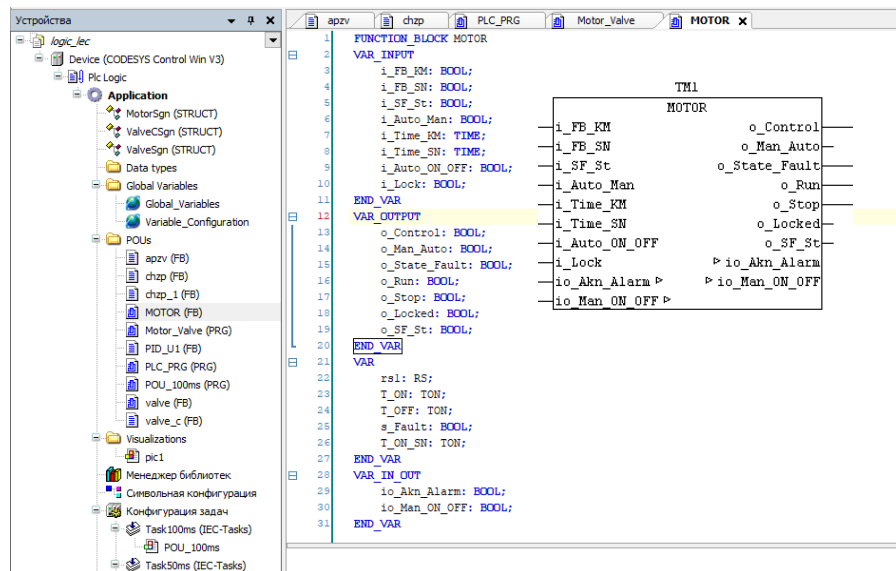


Рис.6.15 – Загальний вигляд блоку керування двигуном та список змінних підпрограми що його реалізує.

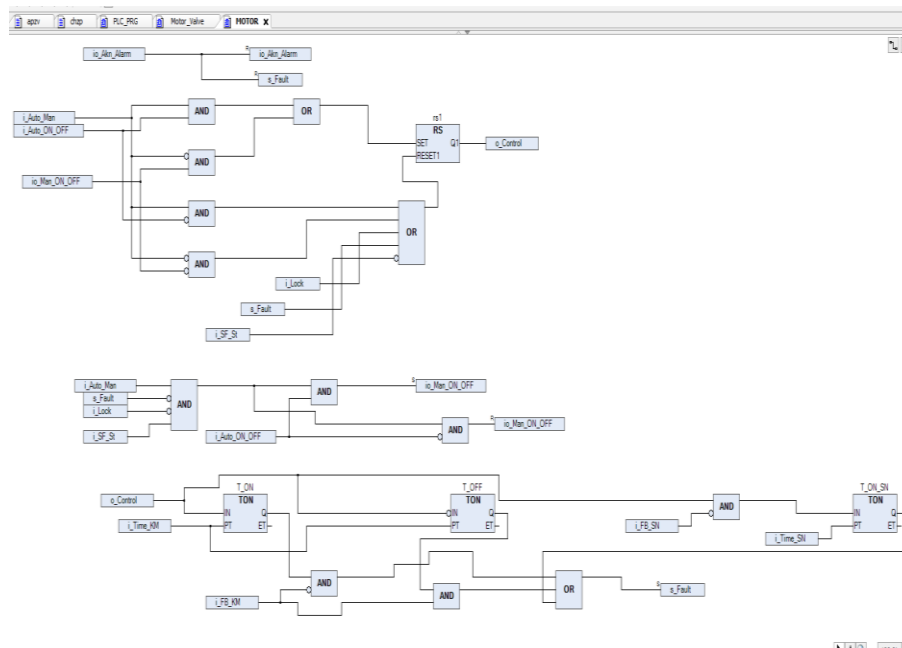


Рис. 6.16 – Фрагмент підпрограми що реалізує блоку керування двигуном.

Результати тестування програми при виконанні алгоритмів пуску та зупинки підтвердили правильність реалізації. Фрагмент програми та графічний інтерфейс при тестуванні алгоритму пуску наведено на рис. 6.17 та 6.18.

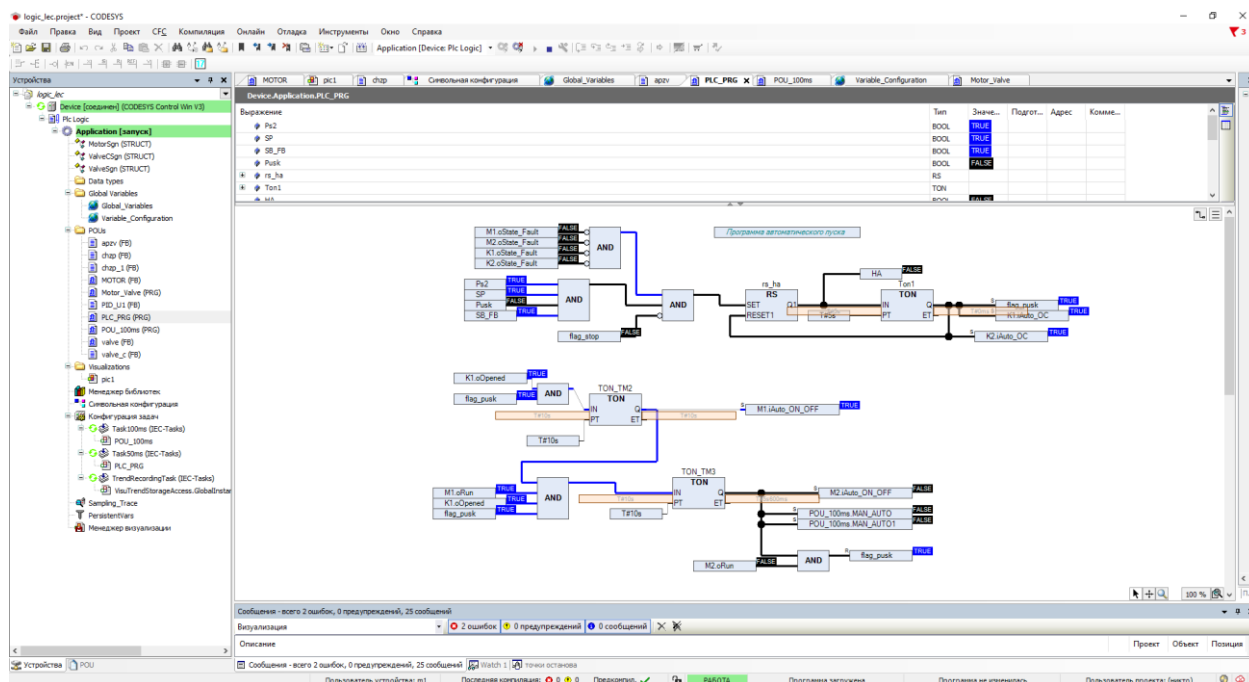


Рис. 6.17 – Фрагмент програми (в режимі тестування) що реалізує алгоритм пуску САК процесом визрівання сирів.

Результати тестування програми у режимі емуляції контролеру, що реалізує управління пуском та останном процесу визрівання сирів підтверджують коректність реалізації програми моделі САК та програми логічного керування.

6.4. Розробка підсистеми взаємодії автоматизованого робочого місця та мережі контролерів за допомогою OPC UA-сервера.

Взаємодія автоматизованого робочого місця (АРМ) та мережі контролерів з допомогою OPC UA - сервер розглянемо на прикладі реалізації зв'язку засобами пакету CoDeSys, в якому розробляється ПО контролера. Як приклад розглянемо реалізацію зв'язку тільки для контурів регулювання. В наявності контролера WAGO 750-8212 не має, тому для тестування в якості цільової платформи оберемо CODESYS Control Win V3 (рис. 6.18).

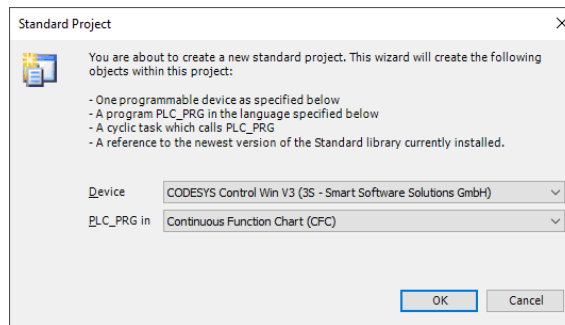


Рис. 6.18 – Загальний вигляд вікна вибору цільової платформи.

Проводимо конфігурацію OPC UA – серверу у пакеті CoDeSys, для обміну даними зі SCADA системою. Для цього вказуємо які змінні потрібно включити в мережевий обмін даними (рис. 6.19) та налаштовуємо параметри мережевого зв'язку. В мережевий обмін включаємо регульовані змінні та їхні задані значення, а також параметри двигунів та клапанів.

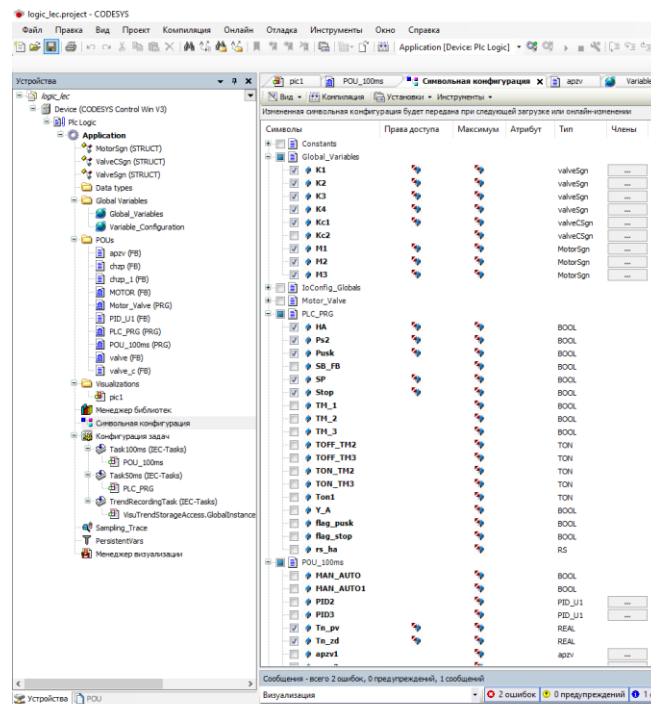


Рис. 6.19 – Фрагмент налаштування символічної конфігурації для обміну даними з використанням OPC UA - сервера.

Після конфігурації вибрані змінні будуть доступні OPC UA - клієнтам. Зокрема SCADA-системам.

У середовищі SCADA-системи WinCC реалізуємо канал зв'язку з OPC UA сервером. Проводимо підключення до OPC UA сервера CoDeSys в середовищі WinCC та формування нових тегів.

На рис. 6.20 та 6.21 представлені вікна налаштування мережевого підключення до OPC UA сервера CoDeSys та створення тегів пов'язаних з OPC UA сервером в SCADA системі WinCC.

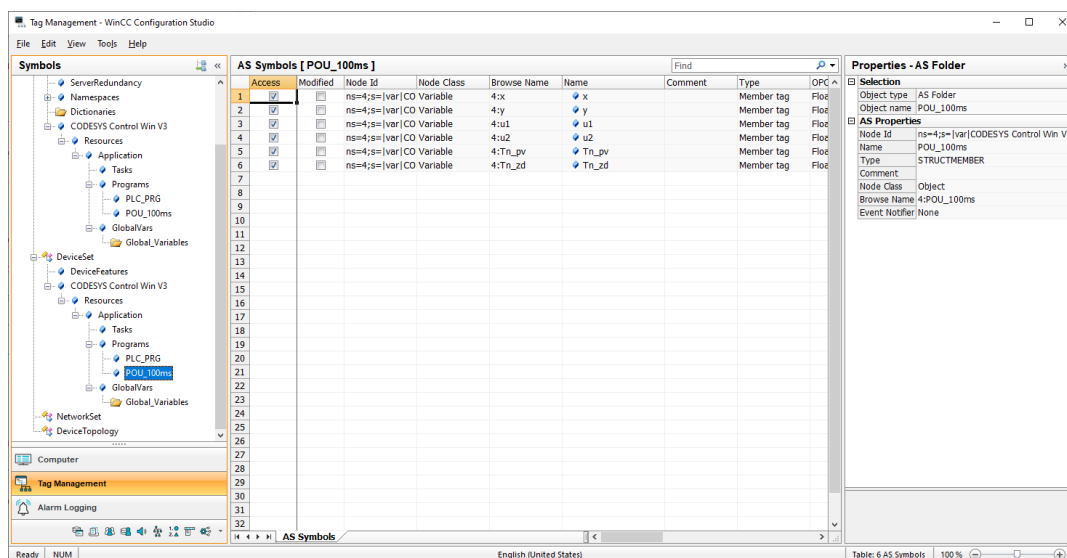


Рис. 6.20 – Вікно створення мережевого підключення до OPC UA сервера CoDeSys в SCADA системі WinCC.

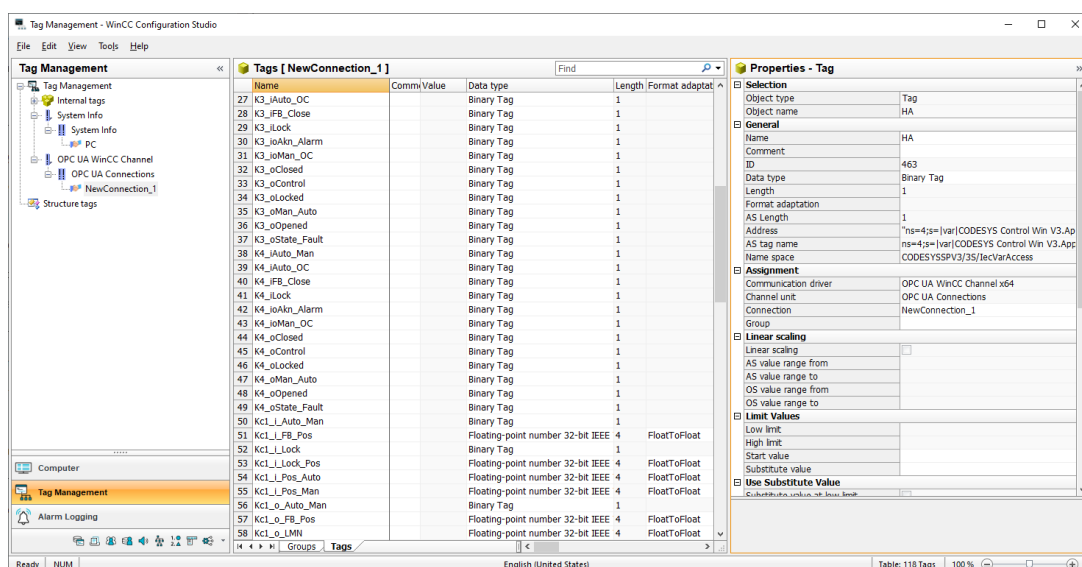


Рис. 6.21 – Вікно створення тегів пов'язаних з OPC UA сервером CoDeSys в SCADA системі WinCC.

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

6.5. Висновки за розділом

В даному розділі була проведена програмна конфігурація промислового контролера та його блоків вводу/виводу, в середовищі CoDeSys 3.5. Розроблені програми, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання процесом визрівання сирів, проведена їх перевірка, яка засвідчила роботоспроможність програм та їх відповідність алгоритмам керування.

РОЗДІЛ 7.

РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК

7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога.

Робоче місце оператора-технолога процесом визрівання сирів повинно передбачати наявність набору функцій, які максимально охоплюють і забезпечують виконання його професійних обов'язків. З урахуванням цього АРМ оператора-технолога процесу визрівання сирів має передбачати можливість виконання оператором наступних функцій:

1. Контролювати значення технологічних параметрів процесу визрівання сирів і задавати режими роботи обладнання.

2. Контролювати стан обладнання процесу визрівання сирів (включено, вимкнений, знаходиться в аварії і т.д.) і значення експлуатаційних параметрів обладнання.

3. Керувати запуском і зупинкою обладнання в ручному та автоматичному режимах керування.

4. Керувати окремим обладнанням в ручному режимі.

5. Контролювати виникнення порушень в роботі обладнання і оперативно реагувати на них. Виходячи із викладеного раніше, в проекті, для реалізації АРМ оператора-технолога передбачені наступні екрани:

1) Мнемосхема ділянки. Основний екран із зображенням мнемосхеми процесу визрівання сирів дозволяє контролювати хід процесу, керувати обладнанням, міняти режими роботи обладнання та контролювати виникнення порушень в роботі.

2) Графіки. Екран, призначений для відображення графіку зміни температури повітря в камері та відносної вологості повітря в камері.

3) Повідомлення, Буфер повідомлень. Архів повідомлень. Екрани,

призначені для відображення діагностичних повідомлень різних класів.

4) Адміністрування. Екран допомоги для нових недосвідчених користувачів та для налаштування.

7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога

7.2.1. Шаблон екранів.

Шаблон екранів створюється як окреме основне вікно у графічному редакторі екранів SCADA-системи WinCC V8.0. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону (рис.7.1) будуть присутні на всіх екранах що входять в проект.

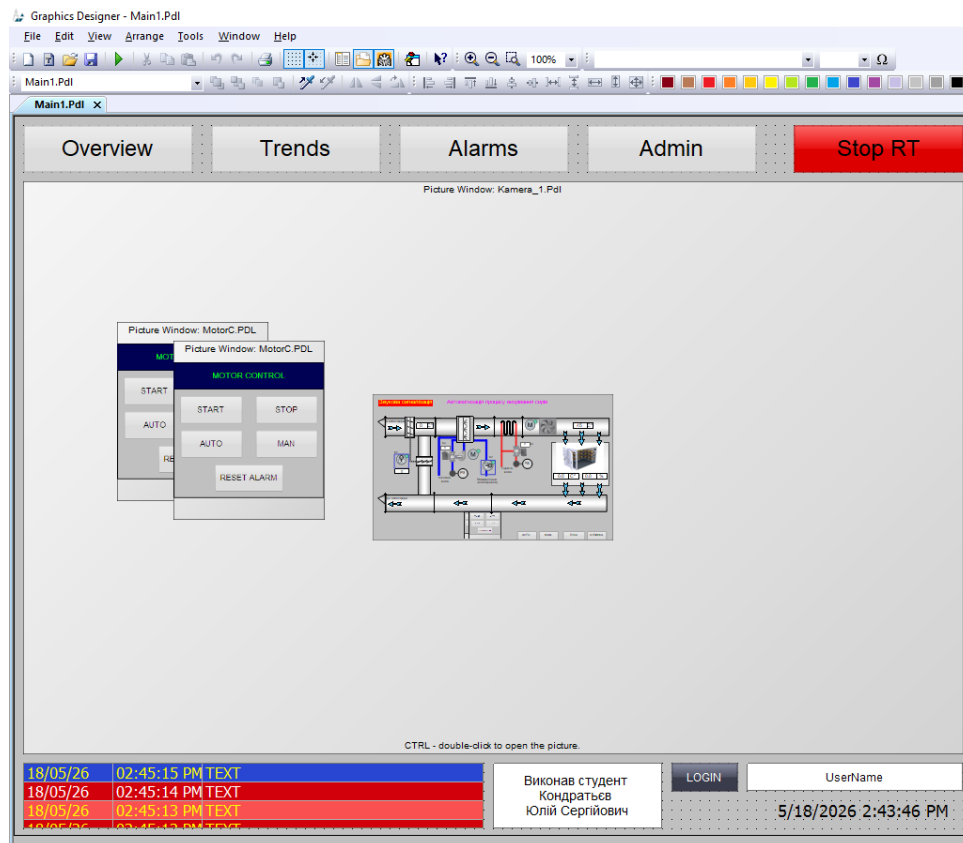


Рис.7.1 – Загальний вигляд шаблону вікон.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикавання екранів АРМ. Заголовок екрану створений з використанням типових елементів графічного редактора системи WinCC. Він включає логотипи розробника проекту, елементи відображення поточної дати і часу, елемент відображення

поточної активної помилки, а також текстове поле виведення назви поточного активного користувача.

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. Для перемикання вікон використовуються спеціальні системні функції (рис. 7.2).

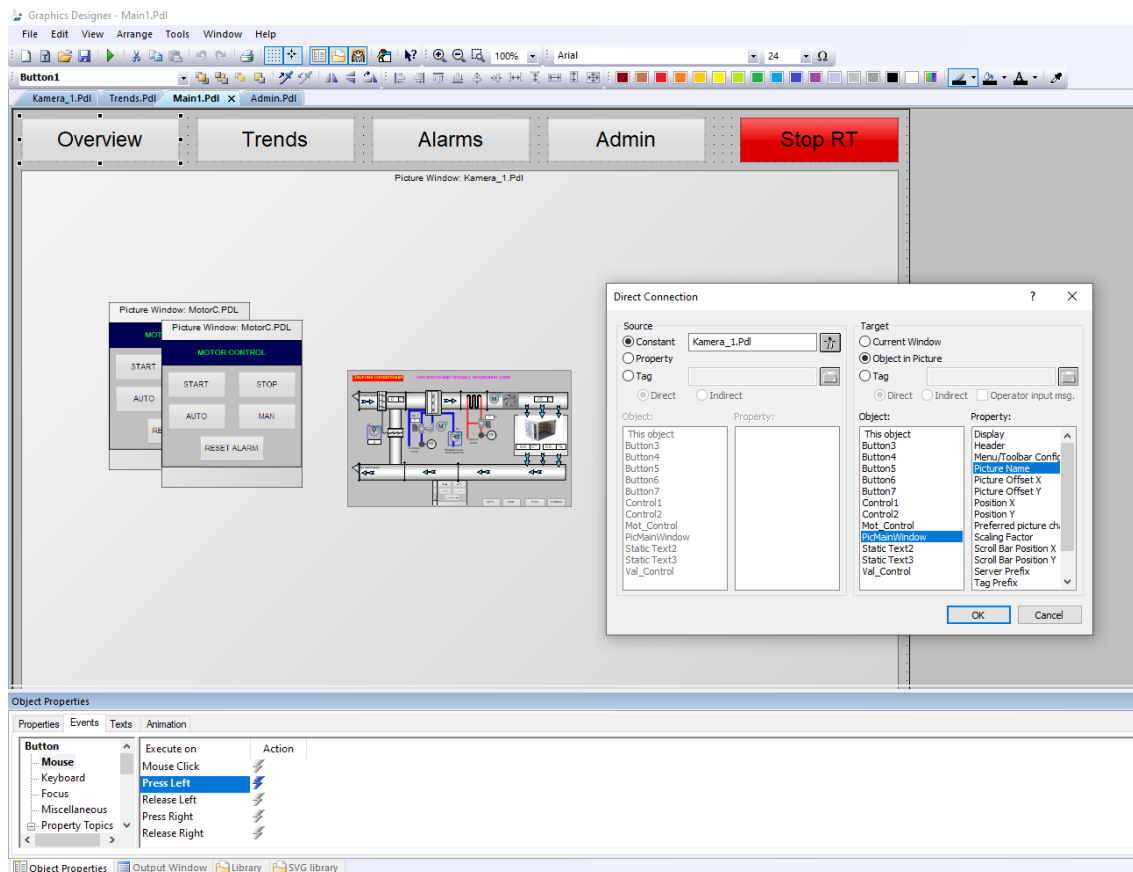


Рис.7.2 – Приклад використання системної функції для перемикання екранів графічного інтерфейсу.

У заголовку екрану також відображається ім'я поточного активного користувача. Ім'я користувача виводиться у текстовому полі.

7.2.2. Мнемосхема ділянки.

Основне вікно «Overview» (Мнемосхема ділянки) (рис. 7.3) містить схематичне зображення обладнання процесу визрівання сирів з елементами відображення і управління. Зображення агрегатів процесу визрівання сирів

створено в графічному редактор SCADA - системи WinCC з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на мнемосхемі графічні елементи відображення і управління дозволяють оператору контролювати стан обладнання і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням.

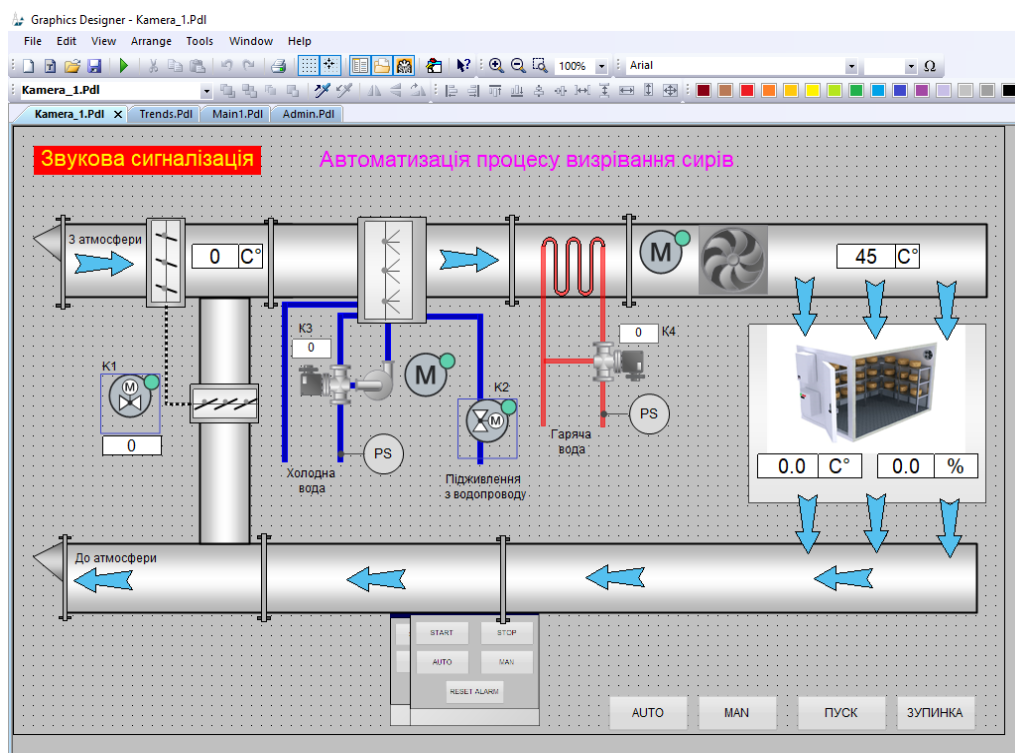


Рис. 7.3 – Загальний вигляд вікна «Overview» (Мнемосхема ділянки).

Відображення поточних значень і введення заданих значень технологічних параметрів процесу визрівання сирів виконується з використанням елементів «IO Field», які пов'язують з відповідними тегами контролера. Відображення дискретних сигналів з датчиків виконується за допомогою елементів «Circle» за рахунок зміни їх кольору. Також зміною кольору елементів мнемосхеми процесу визрівання сирів або появою стрілок вказують напрямок потоку складових, холодної та теплої води, відображається включення двигунів і відкриття клапанів.

Контроль стану двигунів і клапанів реалізований з використанням спеціально розроблених екранних форм (рис. 7.4).

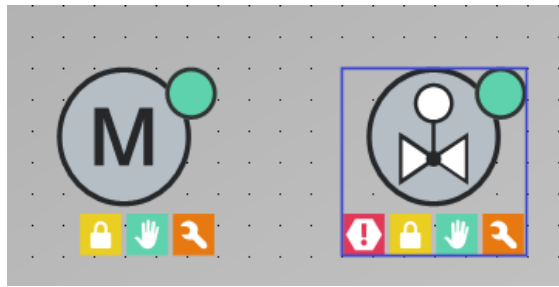


Рис. 7.4 – Екранні форми для контролю стану двигунів та виконавчих пристроїв.

Екранні форми підключаються до відповідних тегів у контролері і відображають стан і режим роботи обладнання.

Керувати двигунами і клапанами оператор може з використанням спеціальних екранних форм керування (рис. 7.5).

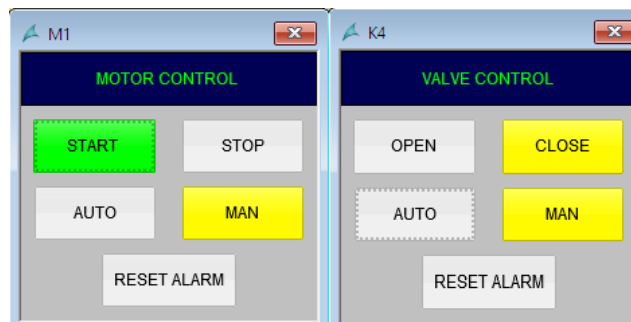


Рис. 7.5 – Екранні форми для керування двигунами і клапанами.

Екранні форми управління також прив'язуються до тегів контролера і дозволяють оператору міняти режим роботи (АВТ / РУЧ) клапана або двигуна, управляти їх станом, підтвердити помилки при їх виникненні. На рис. 7.6 представлений приклад прив'язки тегів до екранної форми контролю стану двигуна. Створені екранні форми згруповані в спеціальній бібліотеці і можуть використовуватися при створенні інших проектів.

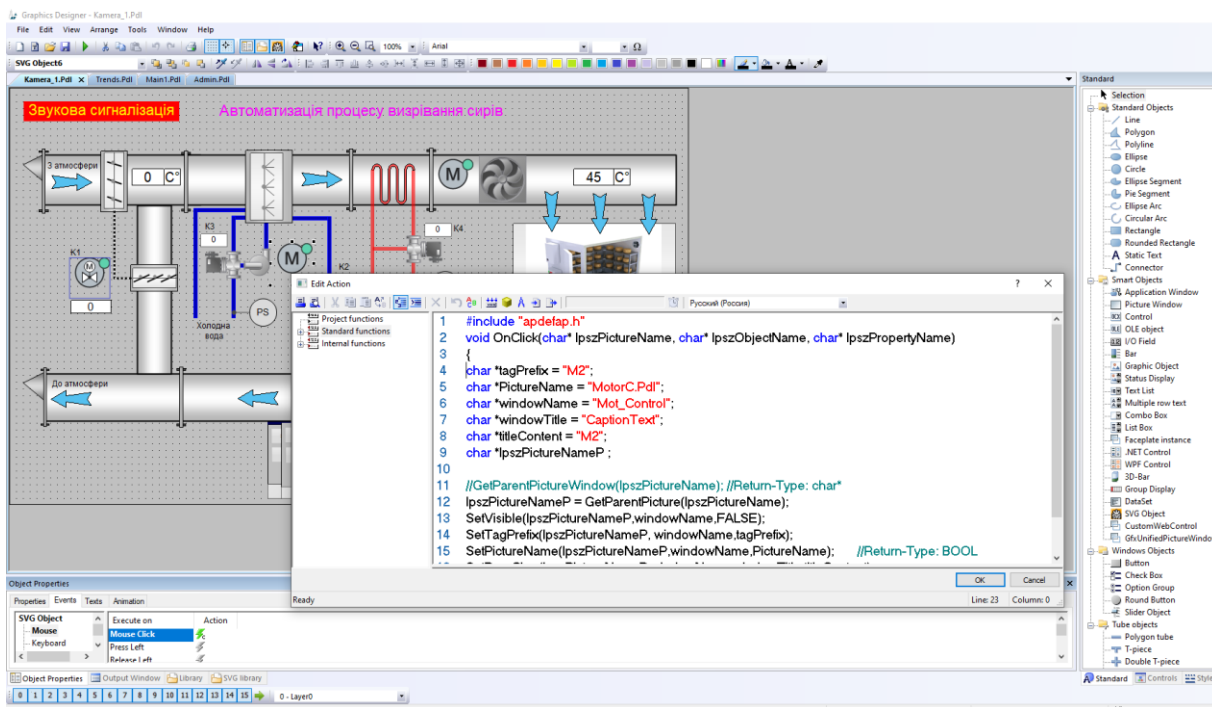


Рис. 7.6 – Фрагмент вікна прив'язки тегів до екранної форми контролю стану двигуна насосу.

На малюнку 7.7 представлений екран «Overview» (Мнемосхема ділянки) при працюючому в автоматичному режимі, без порушень режиму роботи і справному обладнанні. А на малюнку 7.8 представлений цей же екран, але з відкритими екранними формами управління клапанами і двигунами. Екранні форми управління викликаються натисканням лівої кнопки миші на відповідній екранній формі контролю стану двигуна або клапана.

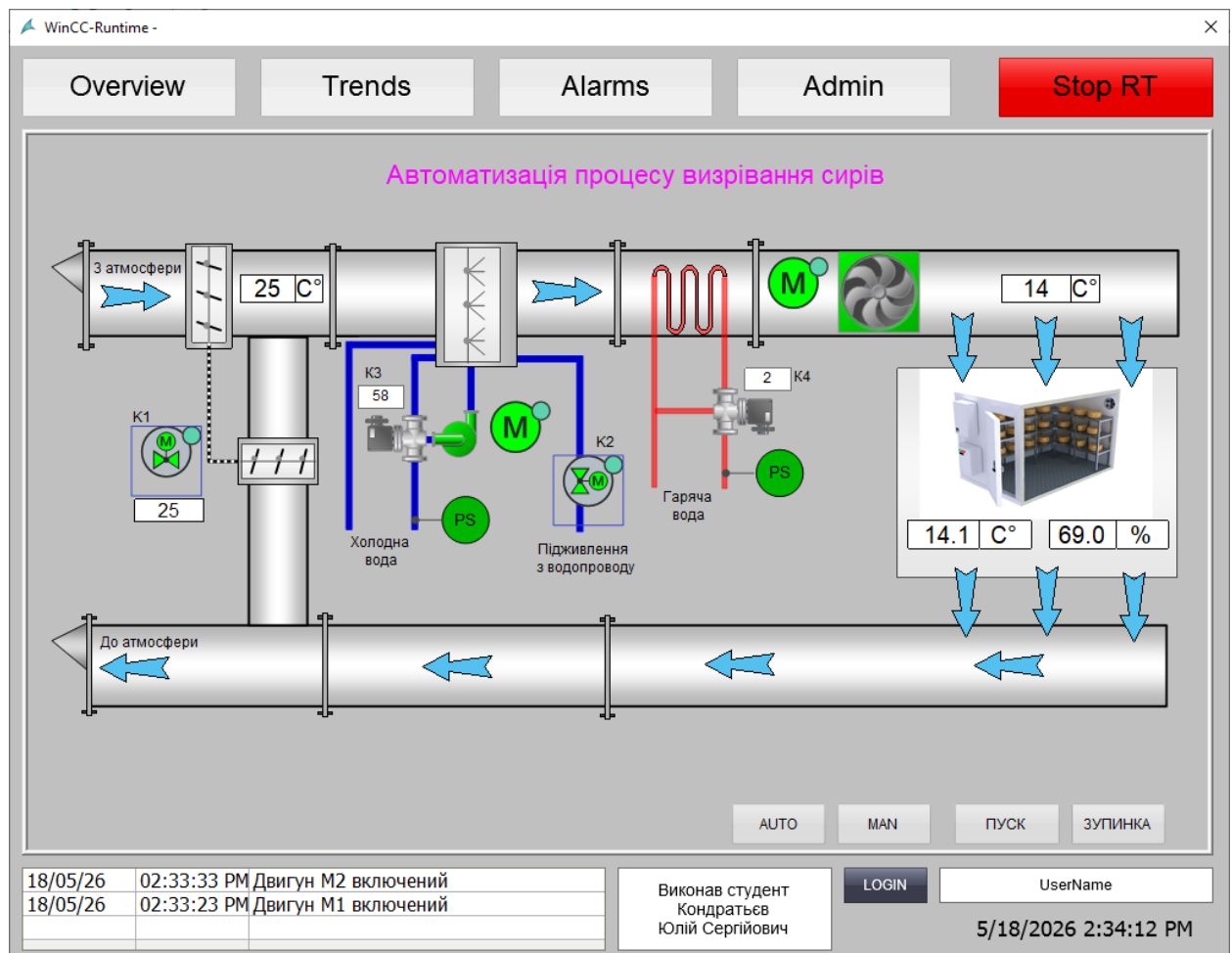


Рис. 7.7 – Загальний вигляд екрану «Overview» (Мнемосхема ділянки) при нормальній роботі.

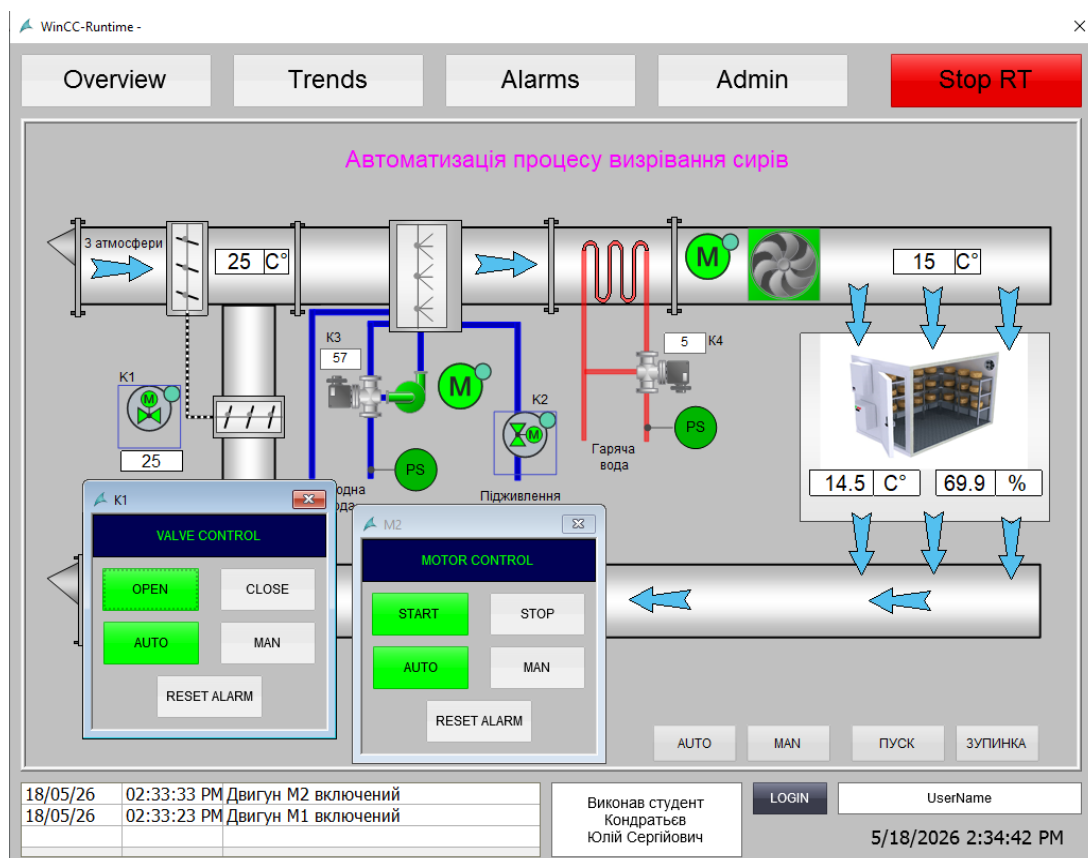


Рис. 7.8 – Загальний вигляд екрану «Overview» (Мнемосхема ділянки) при відкритих екранних формах управління двигунами і клапанами.

7.2.3. Графіки зміни технологічних параметрів.

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів процесу визрівання сирів в проекті передбачено вікна побудови графіків зміни температури та відносної вологості повітря у камері визрівання сирів. Для побудови графіків використовується елемент «Trend View» із стандартної бібліотеки SCADA - системи WinCCFlexible. На малюнку 7.9 представлений вікно реєстрації температури та вологості повітря, а на малюнку 7.10 приклад налаштування елемента «Trend View» і його прив'язки до тегів контролера.

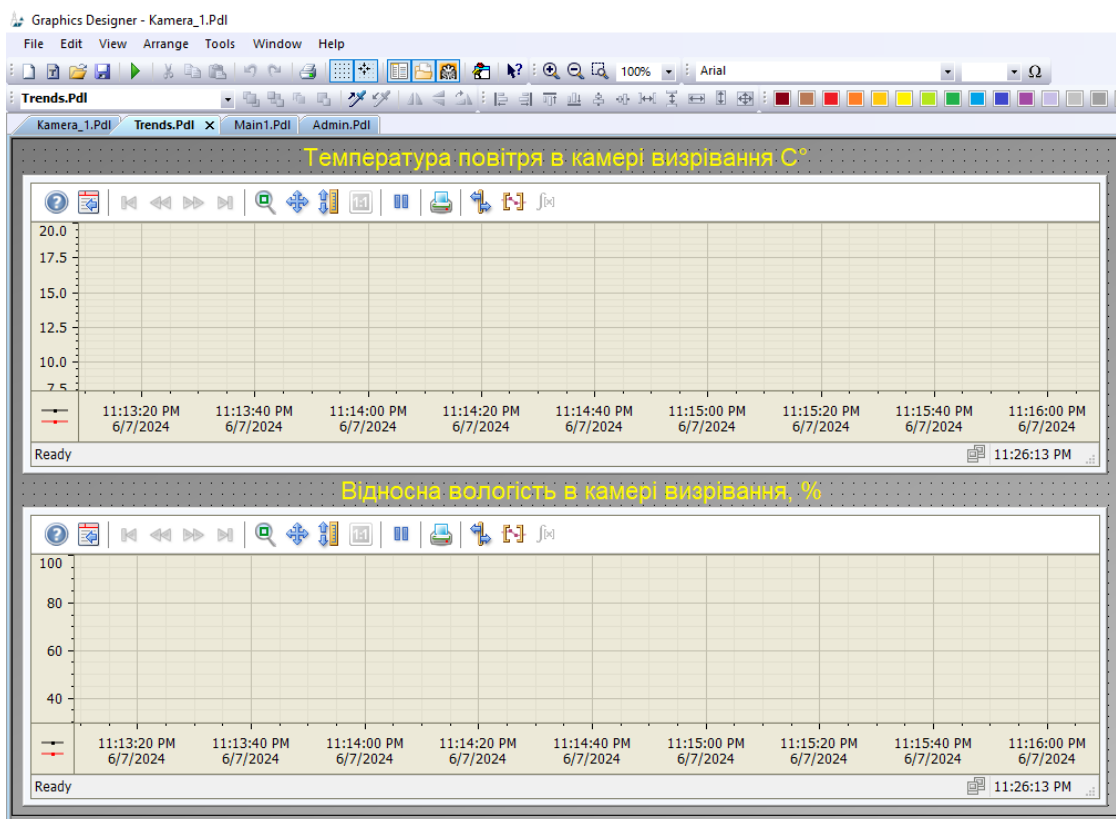


Рис.7.9 – Екран реєстрації температури та вологості.

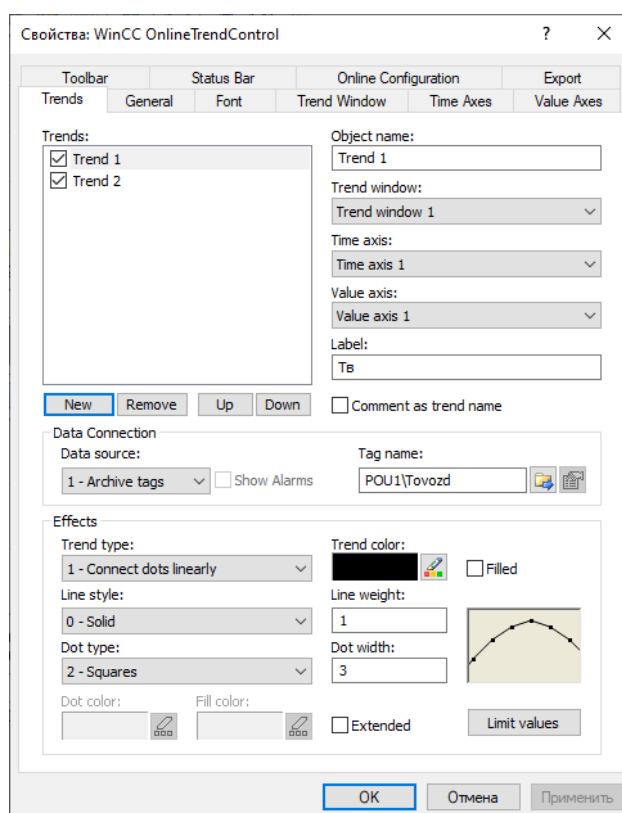


Рис.7.10 – Приклад налаштування елемента «Trend Control».

На рис. 7.11 представлені графіки зміни температури повітря та відносної вологості в камері визрівання сирів під час пуску у роботу.

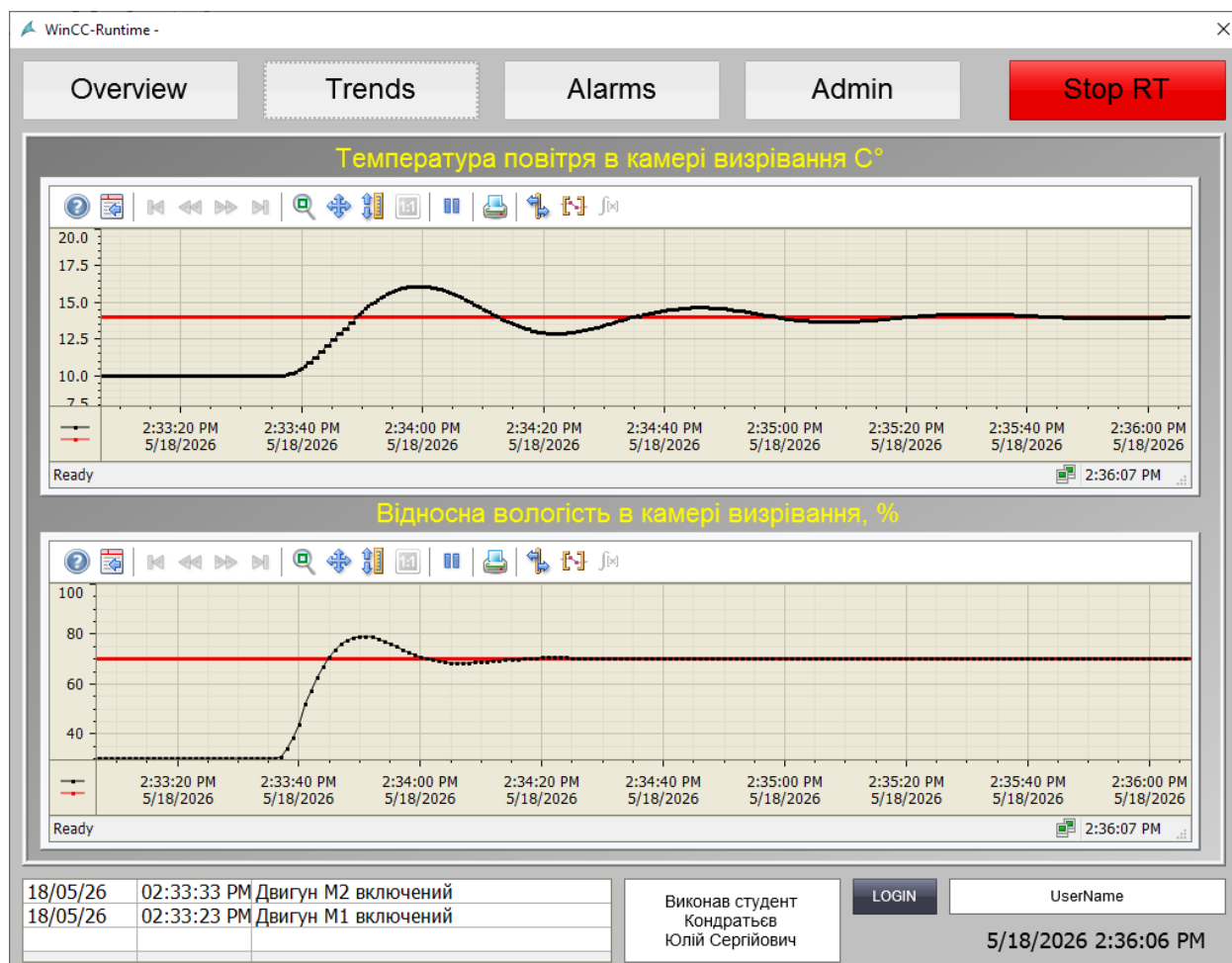


Рис. 7.11 – Графіки зміни температури повітря та відносної вологості в камері визрівання сирів.

7.2.5. Діагностичні повідомлення.

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і події виникають з обладнанням процесу визрівання сирів в проекті створена система повідомлень з використанням відповідного редактора SCADA - системи WinCC. Система повідомлень включає повідомлення обумовлені користувачем і системні повідомлення. Повідомлення, обумовлені користувачем, розділені на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки).

Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечних робочих станах заносяться в архів. Фрагменти списків дискретних і аналогових повідомлень, класів повідомлень для процесу визрівання сирів представлені на малюнках 7.12 - 7.14.

The screenshot shows the 'Alarm Logging' window in WinCC Configuration Studio. The left pane shows a tree view with 'Messages' expanded. The main pane displays a table titled 'Limit Values [All]'.

Tag	Shared message	Message number	Comparison value	Comparison value tag	Indirect	Hysteresis	Hysteresis in percent	Hysteresis during "incoming"	Hysteresis during "outg"
1	Low limit	1	68		☐	0	☐	☒	☒
3	High limit	13	72		☐	0	☐	☒	☒
5	Tn_pv	0			☐		☐	☐	☐
6	Low limit	15	13		☐	0	☐	☒	☒
7	High limit	16	15		☐	0	☐	☒	☒

Рис.7.12 – Фрагмент вікна редактора аналогових повідомлень для процесу визрівання сирів.

The screenshot shows the 'Alarm Logging' window in WinCC Configuration Studio. The left pane shows a tree view with 'Messages' expanded. The main pane displays two tables: 'Messages [Warning]' and 'Messages [Alarm]'.

Number	Message tag	Message Stat	Status bit	Ackno	Ackn	Message class	Message Type	Message (Priority)	Message text
1	M1_oRun	0	0	0	0	MyMessage	Warning	0	Двигун M1 включений
2	M2_oRun	0	0	0	0	MyMessage	Warning	0	Двигун M2 включений
3	M1_oStop	0	0	0	0	MyMessage	Warning	0	Двигун M1 вимкнений
4	M2_oStop	0	0	0	0	MyMessage	Warning	0	Двигун M2 вимкнений
5	SP	0	0	0	0	MyMessage	Warning	0	Тиск холодної води у нормі
6	Ps2	0	0	0	0	MyMessage	Warning	0	Тиск гарячої води у нормі

Number	Message tag	Message Stat	Status bit	Ackno	Ackn	Message class	Message Type	Message (Priority)	Message text
1	M2_oState_Fault	0	0	0	0	MyMessage	Alarm	0	Ошибки M2
2	M1_oState_Fault	0	0	0	0	MyMessage	Alarm	0	Ошибки M1
3	K1_oState_Fault	0	0	0	0	MyMessage	Alarm	0	Ошибки K1
4	K2_oState_Fault	0	0	0	0	MyMessage	Alarm	0	Помилка клапану K2

Рис.7.13 – Фрагмент вікна редактора дискретних повідомлень для процесу визрівання сирів.

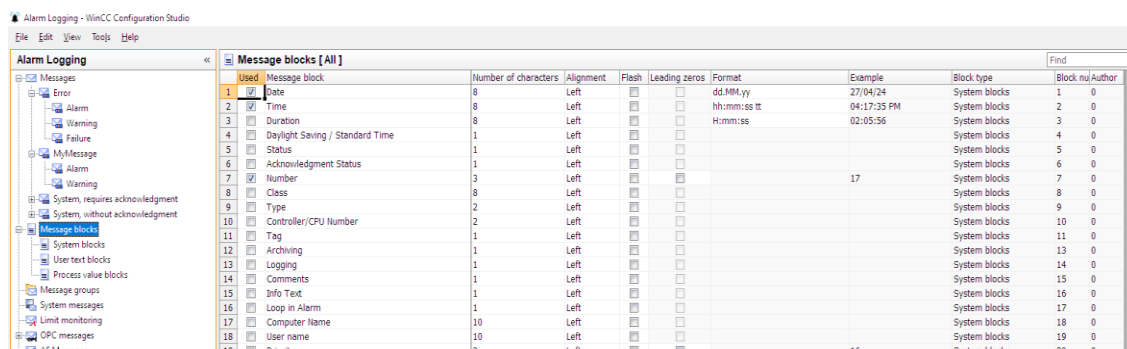


Рис.7.14 – Загальний вигляд вікна блоків повідомлень.

Відображення повідомлень на екрані виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень. При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів. На малюнку 7.15 представлений приклад екрану з елементами «Alarm View» налаштованими на виведення поточних активних робочих повідомлень і повідомлень про несправності. Також на малюнку представлено вікно властивостей елемента «Alarm View» налаштованого на виведення поточних активних повідомлень про несправності в обладнанні камери визрівання сирів.

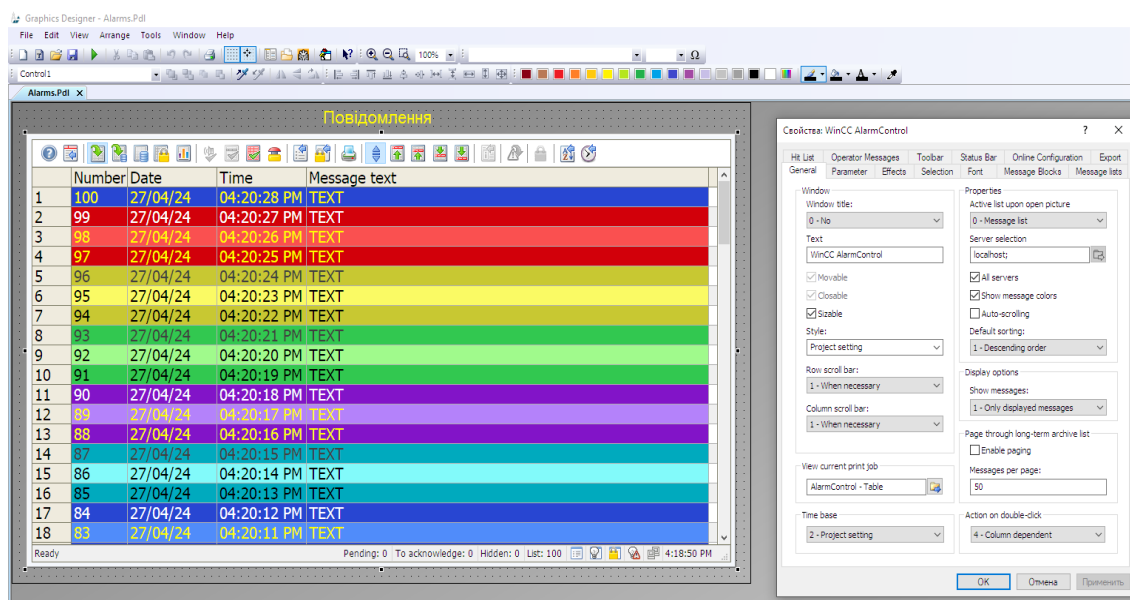


Рис.7.15 – Загальний вигляд екрану виведення діагностичних повідомлень та налаштування елемента виведення повідомлень «Alarm View».

На малюнках 7.16 - 7.18 представлені екрани, що демонструють роботу системи повідомлень для повідомлень, що визначаються користувачем.

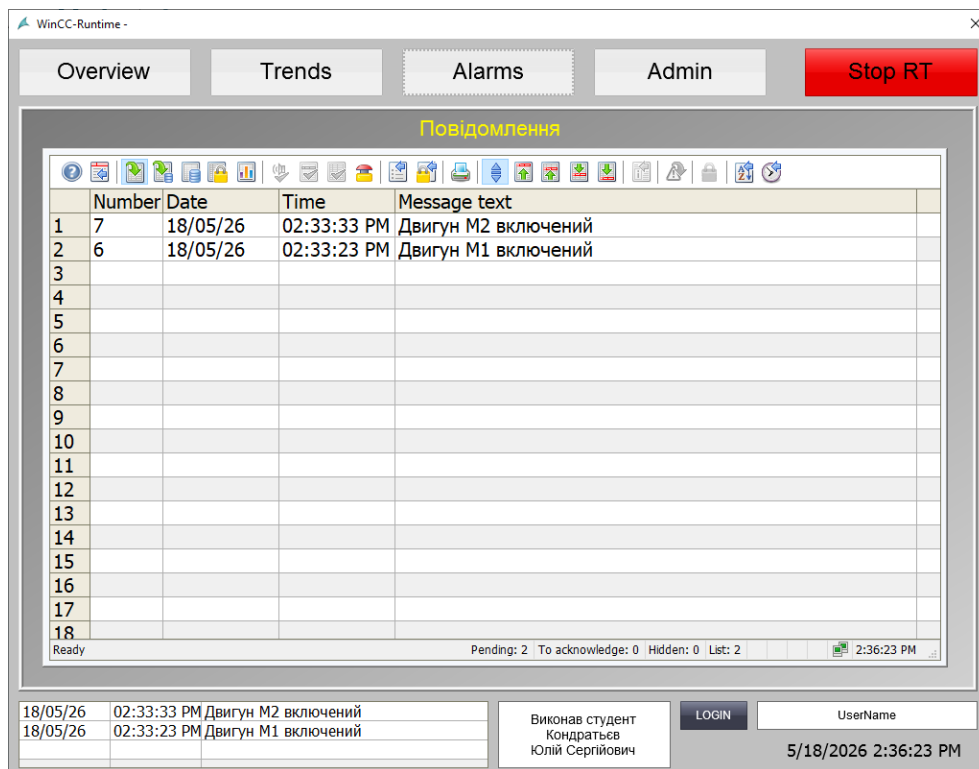


Рис.7.16 – Загальний вигляд екрану з поточними повідомленнями.

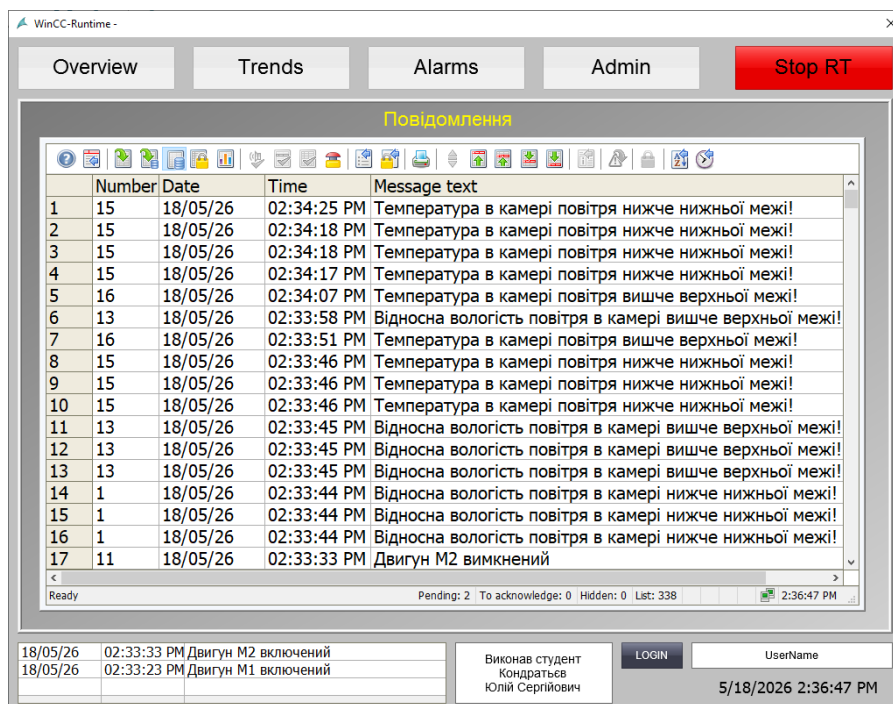


Рис.7.17 – Загальний вигляд екрану з відображенням буфера повідомлень.

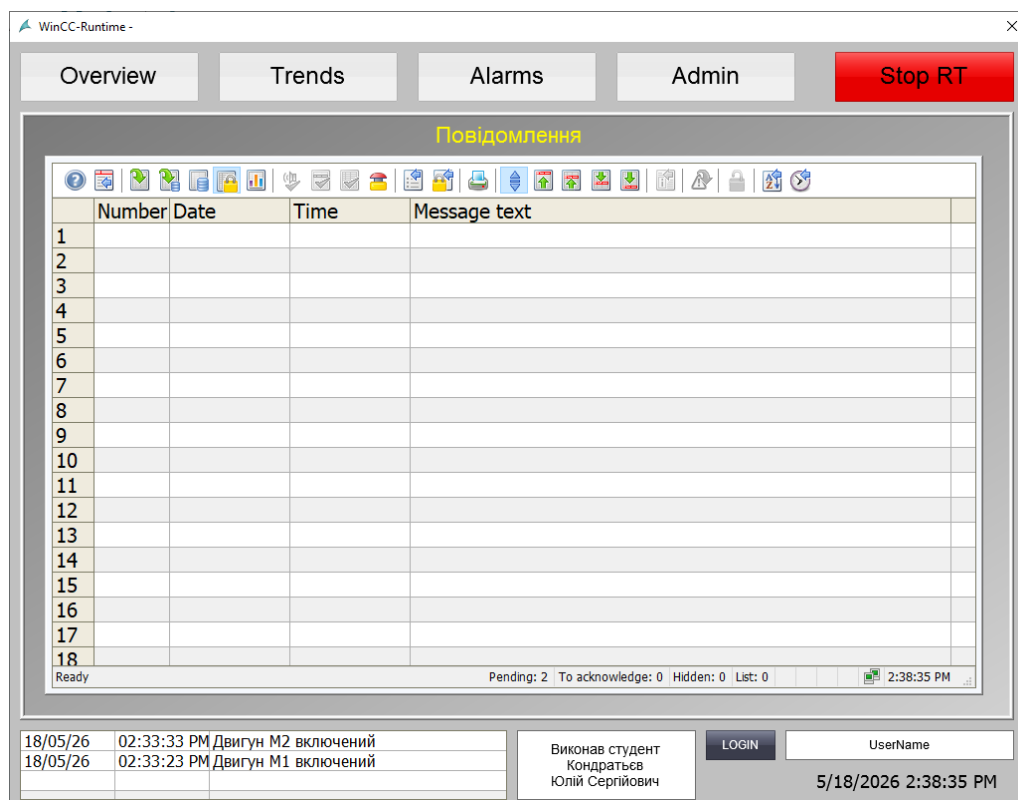


Рис.7.18 – Загальний вигляд екрану з відображенням архіву повідомлень про несправності.

7.3. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САК

Робоче місце наладчика системи автоматичного управління процесом визрівання сирів повинно передбачати наявність набору функцій, які максимально охоплюють і забезпечують можливість виконання його професійних обов'язків.

Виходячи з цього, екрани автоматизованого робочого місця наладчика САК процесу визрівання сирів повинні надавати можливість виконання наступних завдань:

1. Управляти контурами регулювання:
 - Відображати поточні та задані значення регульованих перемінних;
 - Відображати поточні значення керуючих впливів;
 - Міняти значення настроювальних параметрів регуляторів;

- Міняти задані значення регульованих змінних;
- Перемикати режими роботи регуляторів АВТ / РУЧ і формувати управляючі дії в ручному режимі.

2. Задавати значення затримок часу для таймерів, що використовуються в алгоритмах пуску і зупину.

3. Задавати значення затримок часу для спрацьовування датчиків положення клапанів.

4. Задавати значення затримок часу для спрацьовування датчиків зворотного зв'язку стану двигунів.

5. Задавати граничні значення технологічних параметрів.

6. Виконувати адміністрування користувачів системи.

7. Виконувати аналіз системних повідомлень.

В зв'язку з цим в проекті, для реалізації АРМ наладчика САК для процесу визрівання сирів передбачено слідуєчі екрани:

1. Адміністрування ("Admin").
2. Реєстрація.

Програмна реалізація цих екранів у SCADA - системі WinCC представлена в наступному розділі.

7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САК.

Для виконання завдань налаштування контурів регулювання, заданих значень температури та відносної вологості повітря в камері визрівання сирів, часових затримок для алгоритмів керування пуском і зупинкою, граничних значень технологічних параметрів, контролю системних показників роботи панелі оператора у проекті передбачений екрани зміни налаштувань САК («Admin»)(рис.7.19).

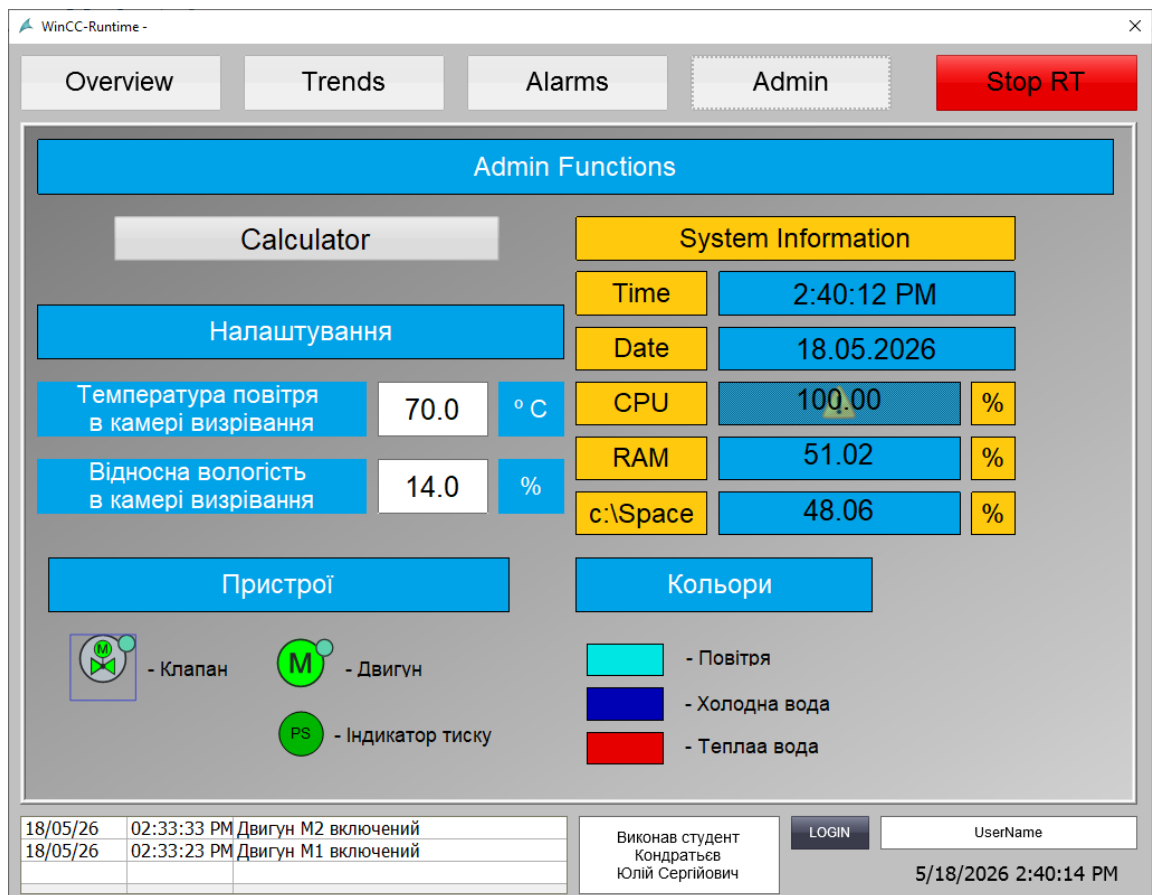


Рис.7.19 – Загальний вигляд екрану «Admin».

Екрани реалізовані з використанням елементів «IO Field», «Button», «Text Field» стандартної бібліотеки SCADA - системи WinCC. Всі кнопки і поля введення / виведення прив'язані безпосередньо до тегів в контролері і дозволяють змінювати їх значення.

Також є можливість виконувати роботу зі списком користувачів. Змінювати імена, паролі, групи існуючих користувачів. Наладчик може додавати і видаляти користувачів системи.

7.5 Висновок за розділом

При виконанні розділу в середовищі SCADA - системи WinCC v 8.0 розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесу визрівання сирів. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, здійснювати перемикання режимів управління обладнанням (АВТ / РУЧ) і управляти в ручному режимі окремим обладнанням, проводити настроювання і налагодження САК процесу визрівання сирів. Відображати динаміку зміни технологічних параметрів (температури та відносної вологості повітря в камері) та вести журнали подій.

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

Основною характеристикою процесу визрівання сирів є отримання готового продукту шляхом витримки в приміщенні з заданими параметрами повітряного середовища.

У промислових умовах досягнення цієї мети є доцільним лише за умови дотримання встановлених вимог до технологічного процесу. Ефективна реалізація процесу можлива лише при забезпеченні стабільності та відповідності регламентованих параметрів заданим значенням.

У таблиці 8.1 наведено перелік основних регламентованих змінних технологічного процесу.

Таблиця 8.1 – Перелік основних регламентованих змінних процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця	Номінальні значення	Припустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
					Величина	Величина	Час
1	Температура повітря в камері визрівання	θ	°C	14	± 1	± 3	600 с
2	Відносна вологість в камері визрівання	φ	%	70	± 2	± 6	200 с

За результатами вибору КТС й відповідно до складеної технічної структури розроблено фрагмент комплексу проектної документації на систему керування.

Комплект включає наступні документи:

Графічні:

- схему автоматизації;
- принципову електричну схему контролю та керування;
- принципову електричну схему живлення;
- загальний вид щита оператора;

- монтажну схему щита оператора;
- схему зовнішніх проводок;

Текстові:

- попередній перелік обладнання до всіх графічних документів; – пояснювальна записка до проекту.

Особливістю принципової електричної схеми системи контролю та керування є її комплексний характер: вона об'єднує функції контролю, керування, сигналізації, а також підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера.

Щит оператора розміщується у спеціально відведеному операторському пункті (ОП). На внутрішній монтажній панелі щита встановлюються електротехнічні компоненти, зокрема апаратура керування, блоки живлення, трансформатори та інші допоміжні пристрої. На фасадній панелі розташовуються засоби взаємодії з оператором: вимірювальні прилади, кнопкові пости, перемикачі режимів та задавальні органи.

У якості основного пристрою керування обрано програмований логічний контролер WAGO PFC200 (модель 750-8212), який реалізує функції контролю та регулювання. Контролер підтримує сучасні протоколи обміну даними, зокрема Modbus TCP та Fieldbus.

Модулі вводу/виводу серії WAGO 750 встановлюються у складі щита оператора як окремий функціональний блок. Вони забезпечують збір, обробку та передачу даних, а також формування керуючих сигналів. Через ці модулі здійснюється обмін інформацією з робочою станцією оператора, реалізованою на базі IBM PC-сумісного комп'ютера, розташованого в операторському пункті.

Контролери серії WAGO 750 призначені для організації взаємодії між обчислювальною системою та польовими пристроями (датчиками і виконавчими механізмами). Вони забезпечують виконання таких основних функцій:

- приймання та обробку команд за протоколами Fieldbus і Modbus TCP;
- введення та нормалізацію аналогових сигналів;
- опитування стану дискретних входів і формування дискретних виходів;
- фільтрацію аналогових і дискретних сигналів.

Обмін даними між контролером і персональним комп'ютером здійснюється через мережу Ethernet із використанням протоколу Modbus TCP.

Для керування технологічним процесом використовується IBM PC-сумісний комп'ютер, на якому встановлено SCADA-систему. Вона забезпечує візуалізацію процесу, сигналізацію аварійних станів, реєстрацію та архівацію технологічних параметрів. Крім того, передбачена можливість передачі даних на віддалені робочі станції через локальну мережу підприємства.

8.2. Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру системи, обсяг автоматизації та відображає взаємозв'язки між елементами функціональних ланцюгів. Вона розроблена відповідно до вимог ДСТУ Б.А.2.4-16:2008 «Система проектної документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів. Умовні зображення приладів і засобів автоматизації в схемах».

Особливістю розробленої схеми є розподіл функцій між мікропроцесорним контролером та персональним комп'ютером. Функції автоматичного регулювання та логіко-програмного керування реалізуються контролером у взаємодії з ПК, який розташований в операторському пункті. Усі датчики мають уніфікований струмовий вихідний сигнал 4–20 мА, аналогічний формат використовується і для формування керуючих впливів.

Відповідно до схеми автоматизації виділено такі контури контролю та керування:

- 1–2 — керування та контроль стану електроприводів М1 і М2;
- 3 — контроль вологості повітря в камері;
- 4 — автоматичне регулювання вологості;
- 5 — контроль температури повітря в камері;
- 6 — регулювання температури повітря;
- 7 — контроль температури зовнішнього повітря;
- 8 — контроль температури гарячої води;
- 9 — контроль температури повітря після калорифера;
- 10 — контроль температури повітря після камери зрошення;
- 11 — контроль температури рециркуляційного повітря;
- 12 — контроль температури холодної води;
- 13 — контроль граничного тиску гарячої води;
- 14 — контроль граничного тиску води;
- 15 — контроль положення засувки №1;
- 16 — контроль положення засувки №2;
- 17 — контроль положення триходового крана.

У контурі 16 реалізовано функцію передпускової сигналізації, а в контурі 17 — функції автоматичного пуску та зупинки технологічної лінії.

У контурах керування електроприводами (1–2) на щиті оператора встановлені перемикачі режимів (автоматичний/дистанційний), кнопки «Пуск» і «Стоп», а також світлова індикація стану двигунів. Безпосередньо на обладнанні передбачено кнопки аварійного зупину.

У контурі регулювання вологості (3–4) використовується багатофункціональний прилад типу БРУ-7 з модулем КБЗ-24-19. Він забезпечує встановлення та зміну заданого значення, вибір режиму роботи (ручний/автоматичний), індикацію поточного значення параметра та сигналізацію граничних відхилень.

Робота контуру 3 здійснюється наступним чином: сигнал від датчика вологості (3а) у вигляді струму 4–20 мА надходить через БРУ-7 (3б) на аналоговий вхід контролера (модуль AI WAGO 750-455). Після обробки сигналу в контролері формується керуючий вплив, який через модуль аналогового виходу (АО WAGO 750-559) передається назад на БРУ-7, а звідти — на виконавчий механізм клапана (3в), що регулює подачу води до камери зрошення.

У ручному режимі керування сигнал на виконавчий механізм формується безпосередньо оператором за допомогою БРУ-7.

Аналогічний принцип роботи реалізовано і для контуру регулювання температури.

Контури 5–10 забезпечують контроль температур різних середовищ (зовнішнього повітря, гарячої води, повітря після калорифера, після камери зрошення, рециркуляційного повітря та холодної води). Для цього використовуються відповідні датчики (5а–10а), сигнали з яких (4–20 мА) надходять на аналогові входи контролера.

Контури 11–12 призначені для контролю граничних значень тиску води та гарячої води. Відповідні датчики формують дискретні сигнали, які надходять на входи DI (модуль WAGO 750-1400).

Перелік використаних приладів і технічних засобів наведено у додатку А (табл. А), а схема автоматизації представлена на рисунку А.

8.3. Розробка принципових схем

На принциповій електричній схемі (2 листи в додатку Б) 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 (ДСТУ) :

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, буквено-цифрові, які вжиті на електричних схемах.

Особливістю принципової електричної схеми контролю та керування є її комплексний характер: вона поєднує функції контролю, керування, сигналізації, а також підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера.

Розглянемо принцип керування електродвигуном М1. Керування електроприводом М1 для дистанційного та автоматичного режимів здійснюється аналогічно.

У дистанційному режимі, за умови ввімкненого автоматичного вимикача 1QF, ключ вибору режиму 1SA переводиться у відповідне положення. Після цього натисканням кнопки «Пуск» 1SB3 (замикаючого типу) подається напруга живлення (220 В, фаза–нуль) на котушку контактора 1KM. У результаті спрацювання контактора замикаються його головні контакти, і електродвигун починає обертатися.

Зазначене рішення також виконує функцію захисту від зниження напруги, оскільки унеможливорює самовільний повторний пуск електродвигуна після відновлення живлення без участі оператора.

Для зупинки електродвигуна використовується кнопка «Стоп» 1SB2 (розмикаючого типу), розташована на щиті оператора, або кнопка 1SB1, встановлена безпосередньо біля електропривода. При цьому котушка контактора 1KM знеструмлюється, його контакти розмикаються, і двигун зупиняється.

В автоматичному режимі ключ 1SA переводиться у відповідне положення, після чого керування здійснюється сигналами від автоматичного пристрою (реле). При замиканні контакту 1K на котушку контактора 1KM подається напруга, що призводить до запуску електродвигуна. Зупинка двигуна відбувається при розмиканні контакту 1K або за командою оператора через кнопки «Стоп».

Для спрощення сприйняття та аналізу таких схем зазвичай додається діаграма роботи ключа вибору режиму.

Для захисту від перевантаження електроприводів М1-М2 використовуються автоматичний вимикач QF, вбудовані системи захисту ЧП (для М2), теплове реле КК (для М1).

У контурах (3-4) керування виконавчим механізмом аналогової дії на щиті встановлено багатофункціональний прилад типу БРУ-7 з КБЗ-24-19. На лицевій панелі корпусу БРУ-7 можна побачити та змінити задане значення параметру (0 – 100%), переключити режим керування контуру (ручне – автоматичне), побачити на цифровому індикаторі поточне значення регульованої змінної та сигналізацію її граничних відхилень.

Розглянемо дію контуру 3. Від датчика вологості 3а з уніфікованим перетворювачем сигнал струму (4-20мА) дріт 3-21 подається на БРУ-7 (3б) клему 1, через який від кл.2 дротом 3-22 подається на вхід АІ кл. Е1 (WAGO 750-455) МПК. Вихідний сигнал (4-20мА) (регулювання) з МПК (WAGO 750-559 кл. А1 дріт 3-26 подається на БРУ-7 (3б) кл.21, звідки в автоматичному режимі БРУ сигнал з кл.20 подається дротом 3-25 на ВМ Belimo (3в) кл.3.

В ручному (дистанційному) режимі сигнал завдання з БРУ-7 (3б) кл. 9 через його замкнені контакти 19 та 20 подається на ВМ Belimo (3в) кл.3.

Для перетворення струмового сигналу регулювання у сигнал напруги, що керує ВМ Belimo, використано високоточний опір 3R (500 Ом), який встановлюється безпосередньо на ВМ, таке рішення дозволяє зняти можливі похибки пов'язані із довжиною лінії.

Аналогічним чином працює контур 4.

На принциповій електричній схемі (аркуш 2) також представлені контури 5–10, що забезпечують контроль температури різних середовищ: зовнішнього повітря, гарячої води, повітря після калорифера, повітря після камери зрошення, рециркуляційного повітря та холодної води. Для вимірювання зазначених параметрів використовуються відповідні датчики (5а–10а), які формують уніфікований сигнал струму 4–20 мА. Ці сигнали надходять на аналогові входи модуля АІ (WAGO 750-455) мікропроцесорного контролера.

Схема також поєднана зі схемою світлової сигналізації стану електродвигунів М1 та М2, реалізованою на щиті оператора за допомогою світлодіодів 1VD–2VD. Обмеження струму в сигнальних колах (1-402–2-402) забезпечується резисторами 1R–2R.

Крім того, на схемі відображено формування вихідних дискретних сигналів за допомогою модуля DO (WAGO 750-430), який використовується для керування електроприводами М1 і М2. У автоматичному режимі керування реалізується через проміжні реле (1K–2K), що забезпечують комутацію силових кіл.

Схема передпускової звукової сигналізації включає звуковий пристрій (дзвоник НА), ключ керування 11SA та проміжне реле 11K. У положенні 1 ключа оператор може вручну подати звуковий сигнал, у положенні 2 — вимкнути його, а у положенні 3 активується автоматичний режим роботи сигналізації, реалізований через реле 11K.

Ініціація алгоритмів автоматичного пуску та зупинки здійснюється за допомогою кнопок 17SB1 та 17SB2, підключених до входів дискретного модуля DI (WAGO 750-1400) через клеми Е1 та Е2 (провідники 17-1, 17-2).

Живлення датчиків і щитових приладів здійснюється від джерел, наведених на схемі електроживлення. При цьому всі «мінусові» (-24 В) виводи джерел живлення, модулів контролера та приладів об'єднані в спільну шину (провід 902).

У додатку Б наведено перелік приладів (табл. Б), що використані в принциповій електричній схемі, а самі схеми наведені там же (рис. Б1, рис. Б2).

8.4. Розробка схем живлення

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 керування, 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 передбачена установка вхідного автомата SF1, лампи освітлювальної EL та розетки для електроінструмента (36 В). В ланцюгах лампи, трансформатору TV1

($220/36\text{ В}$) установлені вимикачі SA1, SA2 запобіжники з плавкими вставками FU1, FU2, FU4.

Живлення контролера WAGO 750-881 здійснюється за допомогою блока живлення «Phoenix Contact»($220/24\text{ В}$) від джерела безперебійного живлення G2 (UPS). Живлення датчиків та ВМ, розташованих за місцем, здійснюється від блока живлення G1 («ОВЕН»), який живиться від джерела безперебійного живлення G2 (UPS). Живлення щитового приладу типу БРУ-7 здійснюється напругою 220 В від джерела безперебійного живлення G2 (UPS). Лінія живлення останнього захищена вимикачем SA3 та запобіжником з плавною вставкою FU3.

Для запобігання з'єднання лінії індивідуального заземлення із заземленням корпусів електрообладнання необхідно забезпечити ізолювання корпусу джерела живлення G1 та G2.

Живлення комплекту ПК здійснюється напругою 220 В від UPS. Всі ланцюги живлення (220 В) приладів захищені автоматичними вимикачами,

установленими в щиті оператора SF2-SF4, а ланцюги живлення (24В) приладів вимикачами SA4, SA5 та запобіжниками з плавкими вставками FU6, FU7, FU8, крім того, використаний запобіжниками з плавкою вставкою FU5 для захисту G1 та позащитових приладів.

У схемі передбачений принцип маркування проводів (за рекомендаціями "ВНДПКІ" "Харчопромавтоматика"), що передбачає: дроти зі змінною напругою 220В, 36В маркувати номерами 8XX, а дроти з постійною напругою 24В маркувати номерами 9XX.

У додатку В наведено перелік приладів (табл. В), що використані в принциповій електричній схемі живлення, а сама схема наведена там же (рис. В).

8.5. Розробка схем компонування технічних засобів у щиті або шафі.

Розроблено креслення загального вигляду щита оператора автоматизованого робочого місця. Загальний вигляд щита контролю та керування наведено у додатку Г (2 аркуші).

Для реалізації функцій дистанційного контролю та керування обрано шафу типу Schneider Electric S3D розмірами 600×600×400 мм зі ступенем захисту IP66. На фасадній панелі щита розміщено апаратуру контролю, сигналізації та органи керування.

У розробленому щиті застосовано принцип сигналізації типу «темна схема», відповідно до якого у штатному режимі світлосигнальна арматура вимкнена, а у випадку відхилень або аварійних ситуацій (наприклад, зупинки двигунів) активується сигналізація червоного кольору.

Фасадна панель щита покрита плівкою (технологія «Oracal») з нанесеними написами, виконаними методом комп'ютерної поліграфії. У панелі передбачені отвори для встановлення відповідних приладів. Позначення елементів (кнопок, перемикачів, світлових індикаторів) узгоджені зі специфікаціями схем автоматизації, принципової електричної схеми та схеми електроживлення.

Усі елементи апаратури пронумеровані для формування переліку складових частин, який наведено у додатку. Відповідні написи на панелі також подані на кресленнях.

Креслення виконано відповідно до вимог ЄСКД із зазначенням необхідних розмірів. Перший аркуш (масштаб 1:4) містить зображення фасадної панелі щита, другий аркуш (масштаб 1:5) — внутрішнє компонування (передня, ліва, права та задня стінки). Креслення доповнені примітками, необхідними для виготовлення виробу.

Контролер WAGO PFC200 (750-8212) встановлено на монтажній панелі (задній стінці) щита.

Розміщення частини апаратури на бокових стінках обумовлено умовами експлуатації: щит встановлюється в операторському пункті з контрольованими кліматичними параметрами, що дозволяє не висувати підвищених вимог до герметичності.

Монтажна схема щита оператора наведена у додатку Г (2 аркуші) та виконана адресним методом без дотримання масштабу. На першому аркуші відображені внутрішні з'єднання елементів, розташованих на бокових і задній стінках, а на другому — з'єднання елементів фасадної панелі.

Контролер розміщений на задній стінці та включений до загальної монтажною схеми. Для навчальних цілей схема підключення зовнішніх проводок об'єднана з монтажною схемою щита, що дозволяє наочно представити взаємозв'язки між датчиками, виконавчими механізмами, пускатями електродвигунів, персональним комп'ютером і щитом оператора.

У додатку Г наведено перелік складових частин щита оператора (табл. Г), який включає також монтажні матеріали, а відповідні креслення подано на рисунках Г1–Г4.

8.6. Розробка монтажних схем або таблиць з'єднань у щиті оператора

Схему зовнішніх проводок виконано відповідно до вимог державних стандартів і рекомендацій керівних нормативних документів; вона наведена у додатку Д.

На схемі відображено прокладку кабельних ліній від датчиків, виконавчих механізмів і магнітних пускатів електродвигунів до щита оператора, а також ланцюгів живлення. Крім того, показано підключення щита оператора до персонального комп'ютера, розташованого в операторському пункті. Усі кабелі промарковані порядковими номерами (1, 2, 3, ...), що забезпечує однозначність їх ідентифікації.

Для прокладання вимірювальних ланцюгів (4–20 мА) від датчиків і ланцюгів сигналізації (24 В) використовується мідний контрольний кабель типу КВВГ перерізом 1,0 та 1,5 мм², а також з'єднувальний провід типу ПВСн перерізом 1 мм². Ланцюги живлення електродвигунів (380/220 В) і живлення щита оператора виконані кабелем КВВГнг перерізом 2,5 мм². Обраний переріз забезпечує допустимий струм навантаження до 21 А, що є достатнім для живлення відповідних електроприводів.

На схемі також наведено з'єднання обладнання в операторському пункті та передбачено окрему лінію захисного заземлення.

Для механічного захисту кабелів під час прокладання через перекриття та на висоті до 2,5 м застосовується металорукав типу МР-20.

У додатку Д наведено перелік монтажних матеріалів і виробів (табл. Д), використаних у схемі зовнішніх проводок, а сама схема подана на відповідному рисунку (рис. Д).

8.7. Охорона праці

Так як розробляється установка, мета якої забезпечити процес вистоювання сиру, то можна ідентифікувати потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що можуть виникнути при експлуатації цієї системи. Наведемо їх гранично- допустимі концентрації з посиланням на нормативні акти, в яких вони встановленні, та зазначимо наслідки від їх впливу. Зведемо дані у таблицю 8.2.

Таблиця 8.2 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
1.	Підвищена або знижена температура повітря робочої зони	21-24 °С	Стан втоми, перегрів або переохолодження організму
2.	Підвищена або знижена рухливість повітря	0,2-0,4 м/с	Простудні захворювання, перегрів організму
3.	Підвищена або знижена вологість повітря	65-75%	Ревматичні, алергічні, захворювання
4.	Недостатня освітленість робочої зони	КПО -1,2%,Е – 200 лк.	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
5.	Підвищений рівень шуму на робочому місті	80 дБА	Захворювання органів слуху
6.	Підвищений рівень вібрації на робочому місці	0,028 м/с x 10 ⁻² /75дБ (загальна вібрація); 2 м/с x 10 ⁻² /112 дБ (локальна вібрація)	Захворювання нервової системи
7.	Статичні перевантаження	-	Стан втоми
8.	Прямий і відбитий відблиск монітора	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів

9.	Знижена контрастність	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
10.	Підвищений рівень електромагніт-ного випромінювання	10 Вт/м ²	Біохімічні зміни в організмі
11.	Підвищений рівень іонізації повітря	n+: 1500-3000 одиниць/ см ³ ; n-: 3000-5000 одиниць/ см ³	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
12.	Канцерогенні, токсичні, мутагенні речовини (озон, оксид азоту, оксид вуглецю, толуол, ксилол, бензол, ізооктан тощо.)	Озон - 0,1 мг/м ³ ; оксид азоту – 5 мг/м ³ ; бензол – 15/5 мг/м ³ ; ксилол – 50 мг/м ³ ; толуол – 50 мг/м ³ ; оксид вуглецю – 20 мг/м ³ .	Біохімічні зміни в організмі
13.	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
14.	Локальні перенавантаження м'язів кистей рук	-	Тунельний синдром
15.	Монотонність праці	-	Стан втоми, головний біль

Виконаємо визначення категорій приміщень. Об'єкт автоматизації включає установку для зволоження повітря та адміністративну будівлю, в якій вона розміщена. Автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора розташоване в окремому приміщенні.

Будівля, в якій знаходиться АРМ оператора, за вибухопожежною небезпекою належить до категорії В. За класом пожежі вона відноситься до класів А та Е. За ступенем небезпеки ураження електричним струмом приміщення належить до категорії без підвищеної небезпеки.

АРМ оператора передбачає роботу з комп'ютерною станцією, за допомогою якої здійснюється моніторинг роботи установки та керування нею в ручному режимі. Усі елементи системи мають умовні графічні позначення на екрані, а їхній стан відображається зміною кольору. У разі виникнення аварійної ситуації або спрацювання блокувань оператор має можливість оперативно визначити місце несправності та вжити відповідних заходів.

Робоче місце оператора відповідає встановленим ергономічним вимогам. Площа одного робочого місця становить 10,0 м², а об'єм приміщення — 25,0 м³, що

перевищує нормативні значення (відповідно 6,0 м² та 20,0 м³). Оператор працює за стандартним робочим столом, використовуючи ергономічне крісло. Візуалізація інформації здійснюється за допомогою рідкокристалічного монітора.

Усі трудові операції виконуються безпосередньо на робочому місці. Освітлення є достатнім: природне освітлення забезпечується вікном, розташованим праворуч, а також передбачено місцеве освітлення у вигляді настільного світильника.

За ступенем важкості виконуваних робіт діяльність оператора належить до легкої категорії, оскільки робота виконується у сидячому положенні та пов'язана переважно з процесами спостереження (таблиця 8.3).

Таблиця 8.3 – Виробниче приміщення, період року, категорія роботи, що виконується, температура, відносна вологість, швидкість руху повітря

№ п.п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
1	Операторський пункт	Теплий	Легка 1а	23-25	40-60	0,1
2	Операторський пункт	Холодний	Легка 1а	23-25	40-60	0,1

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

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

Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення наведені у таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення

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

На кожному технологічному об'єкті для забезпечення належної експлуатації засобів автоматизації повинні бути розроблені та затверджені робочі експлуатаційні інструкції, а також виконавчі схеми електричних і трубних з'єднань. Перелік таких документів затверджується головним інженером підприємства.

Експлуатація технологічного та енергетичного обладнання з несправними або відключеними засобами КВПіА, системами технологічного захисту, а також пристроями, необхідними для ручного керування, забороняється. Під час пуску та зупинки обладнання в ручному режимі необхідно контролювати виконання всіх операцій за показаннями контрольно-вимірювальних приладів. У разі порушення встановленої послідовності дій, перевищення тривалості операцій або відхилення параметрів від заданих значень обладнання слід негайно зупинити та привести у безпечний стан.

Реле захисту, засоби автоматики та прилади контролю повинні бути опломбовані. Виконання робіт у щитах, панелях та колах автоматики при увімкненому обладнанні допускається лише за умови дотримання заходів безпеки, спрямованих на запобігання помилковим діям персоналу. Проведення робіт без виконавчих схем або без чітко визначеної послідовності операцій забороняється. Після завершення робіт необхідно перевірити працездатність вторинних кіл і правильність їх підключення шляхом випробування.

Безпека обслуговуючого персоналу забезпечується застосуванням належної ізоляції, дотриманням безпечних відстаней до струмоведучих частин або їх огороженням, використанням блокувальних пристроїв, а також заземленням або зануленням електрообладнання, яке може опинитися під напругою у разі пошкодження ізоляції.

Монтажні та ремонтні роботи в електроустановках або поблизу них, а також підключення і відключення проводів повинні виконуватися лише при знятій напрузі.

Засоби автоматизації, що підключені до джерел електроенергії, вважаються діючими електроустановками, тому на них поширюються відповідні правила техніки безпеки. Для виконання робіт використовують інструмент з ізольованими рукоятками (викрутки, кліщі, плоскогубці тощо). Як додаткові засоби захисту застосовують діелектричні рукавички, калоші та килимки.

Забороняється виконувати очищення, змащування, ремонт або заміну деталей механізмів під час їх роботи без попередньої зупинки.

Усі датчики повинні бути справними, мати маркування із зазначенням дати перевірки та бути опломбованими. Забороняється виконання ремонтних робіт на обладнанні та комунікаціях, що перебувають під тиском або заповнені робочими середовищами (газами, парою, рідинами).

Перед проведенням ремонтних робіт на обладнанні, пов'язаному з електродвигунами, необхідно розробити електричну схему відключення та вивісити попереджувальний плакат «Не вмикати — працюють люди!».

Також перед ремонтом слід переконатися у встановленні заглушок на вході та виході робочих середовищ. Заглушки повинні мати видимі хвостовики для контролю їх наявності. Запобіжники в колах автоматики дозволяється знімати лише при відключеній напрузі.

Необхідно враховувати, що електричний струм є небезпечним для життя людини: струм величиною близько 0,1 А може бути смертельним.

Захисному заземленню підлягають металеві неструмоведучі частини електрообладнання, які внаслідок пошкодження ізоляції можуть опинитися під напругою і до яких можливий дотик персоналу. У приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних та у зовнішніх електроустановках заземлення є обов'язковим при напрузі понад 36 В змінного струму та 110 В постійного струму. При напрузі 500 В і вище заземлення є обов'язковим у всіх випадках, а у вибухонебезпечних приміщеннях — незалежно від рівня напруги.

Відповідно до вимог пожежної безпеки, відповідальність за її організацію покладається на керівника підприємства, який зобов'язаний:

- забезпечити вивчення та виконання правил пожежної безпеки всіма працівниками;
- організувати проведення протипожежного інструктажу та навчання з пожежно-технічного мінімуму;
- встановити та контролювати дотримання протипожежного режиму;
- здійснювати періодичний контроль стану пожежної безпеки та справності засобів пожежогасіння.

Відповідальність за пожежну безпеку в окремих підрозділах покладається на їх керівників, які повинні:

- забезпечувати дотримання встановленого протипожежного режиму;
- контролювати технічний стан обладнання та своєчасно усувати несправності;
- забезпечувати відключення електрообладнання після завершення роботи;
- підтримувати у справному стані засоби пожежогасіння, сигналізації та зв'язку.

Працівники підприємства повинні проходити протипожежну підготовку, що включає первинний та повторний інструктажі, а також навчання за програмою пожежно-технічного мінімуму.

Для кожного виробничого підрозділу мають бути розроблені інструкції з пожежної безпеки, погоджені з відповідними службами. У них визначаються порядок використання засобів пожежогасіння, дії персоналу у разі виникнення пожежі, правила виклику пожежної охорони та відключення обладнання.

На території підприємства куріння дозволяється лише у спеціально відведених місцях. Забороняється використання відкритого вогню для обігріву трубопроводів, а також захаращення проходів, евакуаційних виходів і доступу до засобів пожежогасіння.

На кожному об'єкті повинні бути схеми пожежного водопроводу із зазначенням місць розташування пожежних кранів і гідрантів, які позначаються відповідними знаками «ПК» і «ПГ».

Для оперативного виявлення пожеж на підприємствах застосовується електрична пожежна сигналізація, що забезпечує швидке повідомлення відповідних служб. На об'єктах з підвищеною небезпекою додатково передбачаються автоматичні системи пожежогасіння (водяні, пінні, порошкові).

8.8 Висновки за розділом

В ході виконання розділу було розроблено варіант фрагменту комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми WAGO 750-881. Розроблений фрагмент комплекту включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу зволоження зерна. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням МПК, ПК та сучасних пристроїв автоматизації.

Також в рамках цього розділу роботи опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування.

РОЗДІЛ 9

Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК

9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації

Капітальні інвестиції являють собою вкладення коштів у придбання будинків, споруджень ін. об'єктів нерухомої власності, машин, устаткування, інших основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні інвестиції здійснюються в наступних основних формах: реконструкція, технічне переозброєння, модернізація виробництва, окремих поточкових ліній, одиниць устаткування, придбання окремих матеріальних активів.

Капітальні інвестиції по базовому й новому варіантах техніки визначаються роздільно. Капітальні інвестиції по базовому варіанті включають: витрати на придбання устаткування, у т.ч.:

Вартість устаткування за оптовими цінами Ц_{опт} ;

Витрати на тару й упакування – Ц_т; Заготівельно-складські видатки – Ц_{з-з};

Витрати на монтаж устаткування – Ц_м;

У сумі ці витрати визначають первинну (балансову) вартість устаткування на підприємстві – ІС^б перв.

Балансову (первинну) вартість діючої техніки визначають на основі дані підприємства, де експлуатується базова техніка.

Первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки при її придбанні може бути розрахована по формулі 9.1.

$$\text{Исперв}^{\text{б}} = \text{Цопт}^{\text{б}} + \text{Цопт}^{\text{б}} * \text{Цм} + (\text{Цопт}^{\text{б}} * \text{Цт})/100 + (\text{Цопт}^{\text{б}} * \text{Цтр}) / 100 + [\{ \text{Цопт}^{\text{б}} + (\text{Цопт}^{\text{б}} * \text{Цт}) / 100 + (\text{Цопт}^{\text{б}} * \text{Цтр}) / 100 \}] * \text{Цз} - \text{з} / 100$$

(9.1) де: Исперв^б – первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки, тис. грн.

Цопт^б – оптова ціна базової техніки,
 Нормативи наведені в таблиці 9.1 Испер^б =
 107000 + 107000 * 0,1 + (107000 * 0,25)/100 +
 (107000 * 5,0)/100+[107000 + (107000 * 0,25) /
 100 + (107000 * 5,0) /100] * 0,012 = 124,7 тис
 грн.

При проведенні модернізації одиниці діючої техніки капітальні вкладення розраховують укрупнено за формулою:

$$\text{ІС мод} = \text{ІС}^{\text{б}} \text{ перв} * \text{Нмод} \quad (9.2)$$

де: Нмод – норматив витрат на модернізацію експлуатованого технологічного обладнання. Приймаємо в границях 5-20 % от ІСперв.

$$\text{ІСмод} = 124,7 \text{ тис грн.} * 0,1 = 12,5 \text{ тис грн.}$$

$$\text{ІСмод}^{\text{н}} = 124,7 \text{ тис грн} * 1,1 = 137,2 \text{ тис.}, \text{ грн}$$

Таблиця 9.1 Нормативні дані для розрахунку капітальних вкладень.

Показники	Позначення	Од.вимір.	Величина
Укрупнений норматив витрат на модернізацію	Нмод	%	10-20
Коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи	Цм	-	0,1
Норматив відрахувань на тару й упакування Цопті	Цт	%	0,25
Норматив відрахувань на транспортні видатки від Цопті	Цтр	%	5,0
Норматив відрахувань на заготови-тельно-складські видатки	Цз-з	%	1,2
Середня ціна 1т лома	Цл	Грн/т	200,0

Норматив витрат на демонтаж від Цопті		%	2
Нормативи розрахунку ліквідної вартості встаткування (від ІС пер)			
При списанні на лом	-	%	4
При використанні на запчастині	-	%	6
При продажі іншим організаціям	-	%	7

9.2. Розрахунок поточних витрат при роботі базової та модернізованої системи автоматизації

До складу поточних витрат включаються витрати, що враховуються відповідно до прийнятої в галузі інструкцією калькуляції собівартості продукції (робіт, послуг).

Таблиця 9.2 Нормативні дані і показники.

№ п/	Показники	Од. вим.	Величина
1	2	3	4
1	Річний фонд часу роботи обладнання	змін	600
2	Місячний фонд часу робітника	год	168
3	Тривалість роботи в зміну	год	8
4	Мінімальний розмір тарифної ставки робітника, який виконує не кваліфіковану роботу	грн	8000
5	Годинна тарифна ставка робітника прийнятої на підприємстві	грн/год	48,00 52,32 57,60 64,80 74,40 86,40
6	Вартість 1 Квт/год роботи обладнання.	грн/год	6,15
6	Вартість 1 куба води + каналізація	грн./куб	13,87 + 12,52
7	Рентабельність виробництва виду продукції	%	42
8	Оптова ціна продукції	тис.грн./	9,8

9	Собівартість виробництва 1 т сиру	тис. грн/	6,9
10	Податок на прибуток (стандартна ставка)	%	18
11	Норматив річних амортизацій (прям. метод)	%	20
12	Податок на доходи фізичних осіб, військов збір	%	18,0 + 1,5
13	Єдиний соціальний внесок (нарахування)	%	22,0
14	Норматив відрахувань на поточний і капітальний ремонт	%	10

Розрахунки виконуються з підрозділом витрат на наступні основні статті:

Сировина і матеріали;

Закупівельні комплектуючі вироби, напівфабрикати (роботи, послуги виробничого характеру сторонніх підприємств і організацій);

Паливо та енергія на технологічні цілі;

Основна та додаткова заробітна плата виробничих робітників;

Відрахування у єдиний соціальний внесок;

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування;

Загальновиробничі витрати;

Виробнича собівартість продукції

Поточні витрати визначають за базовим і новому варіантам зберігання.

Розрахунок виконують тільки по змінюються статтями витрат тобто по тих, які змінюються при переходу від базового варіанту до нового.

Витрати на поточний і капітальний ремонт устаткування встановлені на рівні

10% від його сукупної балансової вартості на початок звітного періоду:

$$V_p = IC_{\text{перв}}^{(6)} * N_p, \quad (9.3)$$

де: N_p – норматив витрат у ремонтний фонд, у відносних одиницях (0,1) не змінюються в процесі запровадження результатів дослідження.

Витрати пов'язані з амортизацією устаткування розраховують по формулі: $V_a = IC_{\text{перв}}^{(6)} * N_a$. (9.4)

де: N_a – норма річних амортизаційних відрахувань від первинної вартості встаткування за винятком зношування Для технологічного устаткування дорівнює 20%, у відносних одиницях 0,2. не змінюються в процесі запровадження результатів дослідження

Таблиця 9.3. Показники виробничої системи

№ п/п	Показник	Познач	Од.вим.	Базова система	Модернізована система
1	Продуктивність	Пг	т/год	1,5	1,5
2	Брак	Бг	т/год	0,015	0,005
3	Опт. ціна обладнання	Цопт ^б	Тис.грн	107,0	Розрахунок
4	Річний фонд робочого часу обладнання	Фг	Змін	600	600

Всі витрати, пов'язані з утриманням базового і нового складу техніки, включаються в статті «Видатки на утримання й експлуатацію встаткування».

Після розрахунків статей, що змінюються, витрат при експлуатації

(використанні) базової й нової техніки складається зведена таблиця зміни річних поточних витрат (табл. 9.5)

$$O B^{(H)} = P o b * F g * K \text{ зав}, \quad (9.5)$$

Де: $O B^{(H)}$ – обсяги виробництва продукції до та після проведення модернізації системи автоматизації.

$P o b$ – годинна продуктивність обладнання (паспорт обладнання)

$F g$ - річний фонд часу роботи обладнання, год

$K \text{ зав}$ – коефіцієнт завантаження обладнання, приймаємо рівним 0,9.

При розрахунку обсягів виробництва враховуємо кількість браку виробництва. Проведена модернізація дала змогу знизити кількість браку на 0,67 %, тобто годинні обсяги виробництва якісної продукції до модернізації складали:

$$1500 - 15 = 1485 \text{ (кг/год)}.$$

Після модернізації: $1500 - 5 = 1495 \text{ кг/год}$.

$$OB^6 = 1,485 \text{ т/год} * 8 * 600 * 0,9 = 6415,2 \text{ т}$$

$$OB^H = 1,495 \text{ т/год} * 8 * 600 * 0,9 = 6458,4 \text{ т}$$

Поточні витрати визначають за базовим і новому варіантами.

Розрахунок виконують тільки по змінюються статтями витрат тобто по тих, які змінюються при переходу від базового варіанту до нового.

Витрати по статті «Сировина, основні та допоміжні матеріали» змінюються пропорційно зміні продуктивності обладнання.

де : $Цс^{(6)}$ – відповідно ціна сировини і матеріалів при експлуатації нової та базової техніки.

$OB^{(H)}$ – обсяги виробництва продукції при використанні базової і модернізованої техніки в натуральному вимірі.

Витрати на поточний і капітальний ремонт обладнання встановлені на рівні 10% від його балансової вартості на початок звітного періоду і обраховуються за формулою 9.6.

$$Зр = IC \text{ перв}^H (6) * Нр, (9,6)$$

$$Зр^6 = 124,7 * 0,1 = 12,5 \text{ тис. грн. } Зр^H = 137,2 * 0,1 = 13,7 \text{ тис. грн.}$$

де: $Нр$ – норматив витрат в ремонтний фонд, у відносних одиницях (0,1)
Витрати, пов'язані з амортизацією обладнання, розраховуються за формулою :

$$З_а = IC_{\text{перв}}^{(6)} * Н_р. (9,7) \quad З_а^6 = 124,7 * 0,24 = 29,9 \text{ тис. грн.}$$

$$З_а^н = 137,2 * 0,24 = 31,8 \text{ тис.грн.}$$

де: H_a – норма річних амортизаційних відрахувань від первинної вартості обладнання за вирахуванням зносу. Для технологічного обладнання на рівня 24%, у відносних одиницях 0,24.

Витрати, пов'язані з утриманням базової і нової техніки, включаються в статті «Витрати на утримання і експлуатацію обладнання».

Після розрахунків змінних статей витрат при експлуатації базової і нової техніки складається таблиця зміни річних поточних витрат (табл. 14,4)

Розрахунок витрат сировини при наявності браку. Для приготування 1 кг твердого сиру в середньому витрачається 10 кг молока.

Розрахунок витрат молока у зв'язку із браком.

$$OC^6 = 15 * 10 * 8 * 600 = 720000 \text{ кг}$$

$$OC^н = 5 * 10 * 8 * 600 = 240000 \text{ кг}$$

У вартісному вигляді, при оптовій закупівельній ціні молока 13 грн/кг: до модернізації – $720000 * 13 = 9360$ тис грн; після модернізації – $240000 * 13 = 3120$ тис грн

Втрати сировини до поточних витрат не включаємо, у зв'язку із зростанням товарної продукції.

Таблиця 9.4 Зміна річних поточних витрат, тис грн

п/п	Статті витрат	Позн	Величина, тис грн		Відхилення. + -збільше - зменшен
			До модер.	Після Модер.	
1	Витрати на сировину	Зс	9360	3120	6240
2	Витрати на поточний капітальний ремонт	Зр	12,5	13,7	1,2
3	Витрати пов'язані з амортизацією	За	29,9	31,8	1,9

4	Кіл-сть. обладнання	Ai	1	1	
5	Всього поточних витрат	3	35,21	35,6	3,1

9.3. Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства

Розрахунок обсягу виробництва продукції здійснюємо за формулою:

$$ОВ^{(н)} = Поб * Фр * К завант \quad (9.8)$$

Де: Поб – фактична годинна продуктивність обладнання

Фр – річний фонд часу роботи обладнання, год

Кзавант – коефіцієнт завантаження обладнання, приймаємо рівним 0,9.

Модернізація системи надала можливість зменшити кількість браку на 0,75%, тобто на 10 кг/год, що дало змогу збільшила випуск продукції не збільшуючи витрати сировини і матеріалів.

Виробнича собівартість продукції, згідно віз умовами проекту не змінюється і рівняється 6,9 тис. грн/т.

Вартісну оцінку результатів від експлуатації базової і модернізованої техніки, доход від реалізації – розраховуємо за формулою:

$$ТП^{(н)} = ОВ^{(н)} * Цпр \quad (9.9)$$

где: $ОВ^{(н)}$ – обсяги випуску продукції до (б) и опісля (н) модернізації обладнання,(в натуральних одиницях);

Цпр – ціна одиниці продукції, виробленої базовою (модернізованою технікою), грн;

$$ТП^б = 6415,2 * 9,8 = 62869,0 \text{ тис .грн.}$$

$$ТП^н = 6458,4 * 9,8 = 63292,3 \text{ тис грн.}$$

$$\Delta ТП = ТП^н - ТП^б = 63292,3 - 62869,0 = 423,3 \text{ тис грн}$$

Собівартість виробленої продукції $C^{(н)}$ до модернізації обладнання та після модернізації не змінилася (за умовами проекту Табл. 9.2) , 6,9 тис. грн.

$$C^{(н)} = 6,9 \text{ тис грн /т (9.10.)}$$

Повна собівартість виробленої продукції до та після модернізації техніки розраховуємо за формулою:

$$ПC^6 = ОВ^6 * C^6 = 6415,2 \text{ т} * 6,9 \text{ тис грн /т} = 44264,9 \text{ тис грн}$$

$$ПC^н = ОВ^н * C^н = 6458,4 * 6,9 \text{ тис грн /т} = 44563,0 \text{ тис грн}$$

Прибуток за результатами діяльності підприємства з використанням базової і нової техніки складе, тис. грн.

$$П_{6(н)} = ТП_{6(н)} - C_{6(н)} \quad (9.11)$$

$$П^6 = 62869,0 - 44264,9 = 18604,1 \text{ (тис грн)} \quad П^н = 63292,3 - 44563,0 = 18729,3$$

(тис.грн)

Приріст прибутку складе:

$$\Delta П = П^н - П^6 \quad (9.12)$$

$$\Delta П = 18729,3 - 18604,1 = 125,2 \text{ тис.грн.}$$

Розрахуємо приріст чистого прибутку (за вирахуванням податку на прибуток), тис. грн.

$$\Delta ЧП = \Delta П (1 - Нп) \quad (9.13)$$

$$\Delta ЧП = 125,2 * 0,82 = 102,7 \text{ (тис.грн).}$$

Де: $Нп$ – податок на прибуток (для виробничих підприємств на Україні рівняється 18%), у відносних одиницях – 0,18

Розраховані показники зводимо в табл. 9.5.

Таблиця 9.5 Показники виробничої діяльності підприємства.

№ п\п	Показник	Поз наче ння	Обладнання		Зміна статей витрат (+)- зростання. (-) зниження
			Базова	Модерн изоване	
1	2	3	4	5	6
1	Дохід від реалізації, тис. грн.	ТП	62869,0	63292,3	423,3
2	Повна собівартість продукції тис. грн.	С	44264,9	44563,0	298,1
3	Прибуток, тис. грн.	П	18604,1	18729,3	125,2
4	Чистий прибуток, тис. грн.	ЧП	15255,4	15358,0	102,6

Строк окупності проекту складе:

$$COI = 137,2 / 102,6 = 1,34 \text{ роки.}$$

Загальний висновок. Пропонована зміна конструкції системи управління є доцільна: прибуток складає 102,6 тис. грн, строк окупності інвестицій 1,34 роки.

ВИСНОВКИ

Процес визрівання сирів є одним із визначальних етапів виробництва твердих сирів. Підвищення ефективності його протікання дозволяє отримати значний економічний ефект, що обґрунтовує вибір даного процесу як об'єкта модернізації системи керування.

При впровадженні оновленої системи керування на базі мікропроцесорних засобів основною метою є забезпечення ефективного контролю та регулювання параметрів процесу із одночасним зниженням енерговитрат. Для досягнення цього необхідно підвищити точність підтримання температури та вологості повітря в камері визрівання, удосконалити алгоритми логічного керування та замінити застарілу елементну базу сучасними технічними рішеннями.

У ході роботи виконано ідентифікацію процесу визрівання сирів як об'єкта керування. Було визначено основні канали керування, зокрема встановлено, що за каналами « $u_1-\theta$ » та « $u_2-\phi$ » об'єкт має властивість самовирівнювання, що пояснюється тепловою природою процесу.

Аналіз статичних характеристик об'єкта показав можливість їх лінеаризації, що підтверджується близькою до лінійної залежністю на досліджених ділянках. Розроблені структурні схеми моделювання та результати їх реалізації продемонстрували достатню відповідність експериментальним даним, що свідчить про коректність параметричної ідентифікації.

Отримана математична модель була використана для синтезу та дослідження системи автоматичного регулювання температури і вологості повітря з підвищеними динамічними характеристиками. Порівняльний аналіз перехідних процесів із різними типами регуляторів показав, що системи з ПІ- та ПІД-регуляторами задовольняють допустимі вимоги, однак найкращі результати забезпечує ПІД-регулятор, який і був обраний для подальшого використання.

Застосування ПД-регулятора дозволило суттєво покращити показники якості перехідних процесів як за прямими, так і за інтегральними критеріями. У якості структури системи обрано варіант із компенсацією контрольованих збурень, що забезпечує підвищення ефективності роботи автономної САК.

Також розроблено алгоритми логічного керування, що забезпечують запуск, штатну роботу та аварійну зупинку ділянки визрівання сирів. Запропоновані алгоритми придатні для реалізації на сучасних мікропроцесорних засобах автоматизації та забезпечують високий рівень якості керування.

Виконано обґрунтований вибір технічних засобів, які відповідають вимогам надійності та точності. Вимірювальні прилади мають необхідні класи точності та робочі діапазони, що гарантує отримання достовірної інформації про параметри процесу. Усі пристрої відповідають ступеню захисту не нижче IP54 та вимогам вибухозахищеності. Використання уніфікованих сигналів типу 4–20 мА сприяє підвищенню якості керування.

У процесі роботи проаналізовано характеристики контролерів Wago та принципи їх програмування, отримано практичні навички роботи з технічною документацією та підбору модулів. Розроблено програмне забезпечення у середовищі CodeSys для реалізації алгоритмів логічного керування та регулювання процесу визрівання сирів.

У SCADA-системі WinCC v8.0 створено програмне забезпечення автоматизованих робочих місць оператора та наладчика. Розроблений інтерфейс дозволяє здійснювати моніторинг процесу, задавати режими роботи, перемикати режими керування (автоматичний/ручний), керувати обладнанням у ручному режимі, виконувати налаштування системи, відображати зміну технологічних параметрів у часі, вести журнали подій та адмініструвати

користувачів. Також розглянуто питання інтеграції із мережею контролерів Wago.

Сформовано комплект технічної документації системи автоматичного керування на базі контролера Wago, який включає основні документи технічного забезпечення автоматизації процесу визрівання сирів. У ході виконання роботи набуті практичні навички розробки проєктної документації із застосуванням сучасних засобів автоматизації, а також опрацьовано питання охорони праці під час експлуатації системи.

Проведені економічні розрахунки підтвердили доцільність впровадження розробленого проєкту: очікуваний приріст чистого прибутку становить 102,6 тис. грн, а строк окупності інвестицій — 1,34 року, що свідчить про його інвестиційну привабливість.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Верба В., Загороднюк О. Проектний аналіз. Підручник. К.: КНЕУ, 2000. 322 с.
2. ДБН А.2.2-3-97. ДКУ Мбіа, 1997. Державні будівельні норми України. Проектування. Склад. Порядок розробки, узгодження й твердження проектної документації для будівництва.
3. ДСТУ 3008:2015 Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ, ДП УкрНДНЦ, 2016. 31 с.
https://science.kname.edu.ua/images/dok/derzhstandart_3008_2015.pdf
4. ДСТУ 6003:2008 (2009) «Сири тверді. Загальні технічні умови»
5. ДСТУ Б А.2.4-10-95. ДКУ Мбіа, 1996 (ДЕРЖСТАНДАРТ 21.110-93, МНТКС).
Правила виконання специфікацій устаткування, виробів і матеріалів.
6. ДСТУ Б А.2.4-3-95. ДКУ Мбіа, 1997 (ДЕРЖСТАНДАРТ 21.408-93, МНТКС).
Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
7. ДСТУ Б А.2.4-4-95. ДКУ Мбіа, 1997 (ДЕРЖСТАНДАРТ 21.101-93, МНТКС). Основні вимоги до робочої документації.
8. Захарченко В. І., Корсікова Н. М., Меркулов М. М. Інноваційний менеджмент: теорія і практика в умовах трансформації економіки: навчальний посібник. К.: центр учбової літератури, 2012. 448 с.
11. Інвестування та інноваційний менеджмент. Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно- інтегровані технології». Одеса: ОНТУ, 2023.

12. Кавецький В. В., Причепя І. В., Нікіфорова Л. О. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2016. 136 с.

13. Конспект лекцій з дисципліни «Інноваційний менеджмент» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладач Корсікова Н. М. Одеса: ОНТУ, 2022. 108 с.

14. Копитко М. І. Управління інноваціями: навчальний посібник для самостійного вивчення дисципліни у схемах і таблицях. Львів. ЛьвДУВС, 2019. 292 с.

Левінський В. М. Основи створення проектів автоматизації в середовищі ТІАPortal [Електронний ресурс] : електрон. навч. посіб. для підгот. студентів спец. "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / В. М. Левінський, М. В. Левінський ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — Електрон. текст. дані: 177 с.
<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.166190>

15. Левінський В. М. Конспект курсу лекцій з курсу "Технічні засоби автоматизації".

Розділ "Виконавчі пристрої" [Електронний ресурс] : для студентів спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. М. Левінський, М. В. Левінський ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехн. систем. — Одеса : ОНАХТ, 2018. — Електрон. текст. дані: 150 с.
<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.162866>

16. Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництві. Затверджено

Міністерством економіки з питань європейської інтеграції та Міністерством фінансів України. Наказ від

25.09.2001, № 218/446.

17. Методичні вказівки до економічної складової кваліфікаційної роботи бакалаврів за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» /Укладачі д.е.н., проф. Савенко І.І., к.е.н., доц. Корсікова Н.М., Одеса: ОНТУ, 2022. 10 с.

18. Муратов В. Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб./ В. Г. Муратов. — Вид. 2-ге, допов. — Київ : Освіта України, 2016. — 364 с.

<https://elc.library.onaft.edu.ua/libraryw/DocumentDescription?docid=OdONAHТcnv.Bib Record.155904>

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

<http://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/11-dstu-b-a.2.4-16-2008.pdf>

20. Поліщук Г.Є., Бовкун А.О., Колесникова С.С. Технологія сиру: Навч. посібник. К.: НУХТ, 2009. 151 с.

21. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.

ДНАОП 0.00-1.32-01/ ВАТ «Київпромелектропроект», 2001.- 86с.

22. Правила улаштування електроустановок/ Відокремлений підрозділ «Науково- проектний центр розвитку Об'єднаної енергетичної системи України» державного підприємства «Національна енергетична компанія «Укренерго» (НПЦР ОЕС України), 2017.- 617с.

23. Пупена О. М. Промислові мережі та інтеграційні технології: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студ. напряму 6050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та за-очної форм навчання. – К.: НУХТ, 2011. – 68 с.
24. Пупена О.М., Ельперін І.В., Луцька Н.М., Ладанюк А.П. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. – К. : Вид- во "Ліра-К", 2011. – 552 с.
25. Пупена О.М., Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI. : Навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. — 594 с.
26. Савицький, В. К. Технічні засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб. / В. К. Савицький, Р. М. Федоришин; Нац. ун-т "Львівська політехніка".— Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2018. - 292 с.
- <https://elc.library.ontu.edu.ua/libraryw/DocumentSearchResult;jsessionid=6CD40B15F14DD9265BF7FD9A559C892C>
27. Скаковський Ю. М. Конспект лекцій з курсу «Автоматизація технологічних процесів та виробництв» для студентів, які навчаються за спеціальністю 151-«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форми навчання. Одеса: ОНАХТ, 2019. Ч.2. 145 с.
28. Скаковський Ю. М. Конспект лекцій з курсу «Автоматизація технологічних процесів та виробництв» для студентів, які навчаються за спеціальністю 151-«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форми навчання.- Одеса: ОНАХТ, 2019. Ч.1. 434 с.
29. Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації [Текст] : навч. посіб. / В. Г. Трегуб ;

Нац. ун-т харч. технологій. — Київ : Ліра-К, 2017. — 344 с. : табл., рис. —

Бібліогр.: с. 341. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library->

[/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.161435](https://elc.library.ontu.edu.ua/library-/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.161435)

30. Управління інноваціями (програма, курс лекцій, практичні заняття, самостійна робота, тести): навч.-метод. посібник / І. І. Стойко. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Палія, 2016. 200 с.

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

<https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.157312>

33. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» для студентів, які навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форми навчання. Одеса: ОНАХТ, 2012. Ч.1. 112 с.

34. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» для студентів, які навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форми навчання.- Одеса: ОНАХТ, 2019. Ч.2. 72 с.

35. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» для студентів, які навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форми навчання.- Одеса: ОНАХТ, 2016. 96 с.

36. Хобін В. А., Світий І. М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання курсової роботи. Одеса: ОНАХТ, 2019. – 216 с.
37. Хобін В.А., Світий І.М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання комплексної курсової роботи. Одеська національна академія харчових технологій, 2020. – 277 с.

ДОДАТОК А

Документація до схеми автоматизації

Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
3а	Датчик вологості RIXEN MTR-740A, діапазон виміру 0...100%,вих. 4-20мА, ступінь захисту IP 65, потуж. 1 Вт, живл. 12...40В DC	1	
4а,5а,6а,7а, 8а,9а,10а	Датчик температури TCM-1-4-50M-B-D, тип pt-100, схема з'єднання 2-провідна, діап. Темп -50-150°C, вих. 4-20мА.	7	
11а, 12а	Реле тиску типу RT Danfoss, діапазон: 0-1 кПа, ступінь захисту IP 66	2	
36,46	Клапан Belimo H679N з ВМ Belimo SVC24A-SZ-TPC (35с), вх. сигнал 0-10 В, жив. 24В, потуж. 10 Вт	2	
13а, 14а	Клапан Belimo GM24A / повітряна заслінка D6300W з ВМ Belimo SVC24A-SZ-TPC (35с), вх. сигнал 0-10 В, жив. 24В, потуж. 10 Вт	2	
15а	Трьохходовий клапан R3015-B1з ВМ Belimo TR24 (35с), вх. сигнал 0- 10 В, жив. 24В, потуж. 10 Вт	1	
	<u>Прилади на щиті управління</u>		
66, 76	Блок ручного керування БРУ-7, жив. 220 В, 8Вт, вх. сигн. 4-20 мА, з КБЗ -24-19	2	
МПК	Блок живлення Phoenix Contact UNO2-PS/1AC/24DC/120W	1	
	Центральний процесор WAGO PFC200 750-8212	1	
	Модуль аналогового вводу WAGO 750-455	1	8AI
	Модуль аналогового виводу WAGO 750-559	1	4AO
	Модуль дискретного вводу WAGO 750-1400	1	16DI
	Модуль дискретного виоду WAGO 750-1504	1	8DI
	<u>Технічні засоби в операторському пункті</u>		
ПК	Персональний комп'ютер в комплекті Dell 9020-4507, з кабелем Ethernet 20м у комплекті	1	з каб. 20м

ДОДАТОК Б

Документація до принципової електричної схеми контролю та керування

Таблиця Б – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми контролю та керування

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
1KM-2KM	Контактор Schneider TESYS K 3P, 9A, H3, 220B гвинтовий затиск, LC1K0901M7	2	
HA	Schneider Сирена $\sim$ =12/24В, 2 ТОН. 106 дБ, XVS10BMW	1	
1SB1-2SB1	Кнопка Schneider XB7NA42, червоний штовхач, (Стоп)	2	
	<u>Прилади в силовому щиті</u>		
1QF-2QF	АВТ.ВИМ. Schneider GV2 3 КОМБ.РОЗЧ. 6-10А ПРУЖИННИЙ ЗАЖИМ, GV2ME143	2	
1KK-2KK	РЕЛЕ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ Schneider 7-10А, LR3D146	2	
1FU-2FU	Запобіжник з плавкою вставкою CH 5x20 F 3,15А 250В ETI	2	
	<u>Прилади на щиті управління</u>		
1SB3-2SB3, 17SB1	Кнопка Schneider XB7NA31, зелений штовхач, (Пуск)	3	
1SB2-2SB2, 17SB2	Кнопка Schneider XB7NA42, червоний штовхач, (Стоп)	3	
1SA-2SA, 13SA1,14SA1 15SA, 16SA1	Перемикач Schneider XB7ND33 на 3 положення	7	
1VD-2VD	Світлосигнальна арматура в зборі Schneider XB7EV04BP, 24В, світлодіод червоний	2	
1R-2R	з опорами 1,2 кОм у комплекті	2	
1K-2K, 13K1,14K1, 15K1, 16K,	Реле проміжне, Weidmuller PS 35836971, 24В, (одногрупне)	7	

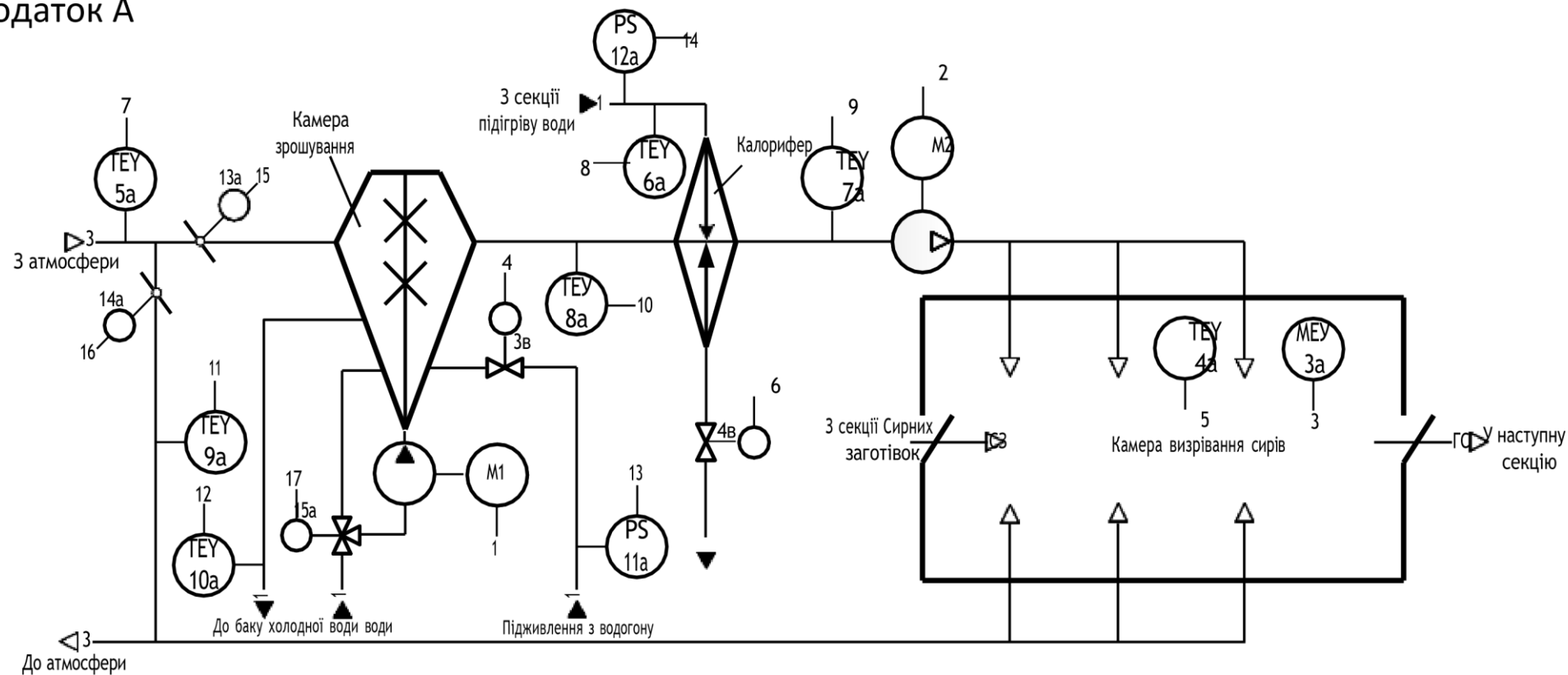
ДОДАТОК В

Документація до принципової електричної схеми живлення

Таблиця В – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми живлення

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
SF1, SF4	Автоматичний вимикач Schneider iC60N 1P 6A C	2	
SF2	Те ж, 1А	1	
SF3	Те ж, 0,5А	1	
EL	Патрон карболітовий E27 настінний косий ФПП-03	1	
TV1	Трансформатор на DIN-рейку EI-19293 220/36, 400ВА	1	
XS1	Розетка на DIN-рейку Hager SN016, 16А	2	
XS2, XS3	Розетка Legrand Quteo 2К+3, 16А	2	
G1	Блок живлення стаб., «ОВЕН» БП60Б-Д4-24, 24В, 60Вт	1	
G2	Джерело безперебійного живлення Luxeon UPS- 1000LE	1	
FU4	Запобіжник з плавкою вставкою CH 5x20 F 12A 250V ETI	1	
FU2	Те ж, 2А	1	
FU8	Те ж, 1А	1	
FU3, FU5, FU6, FU7	Те ж, 0,5А	4	
FU1	Те ж, 0,16А	1	

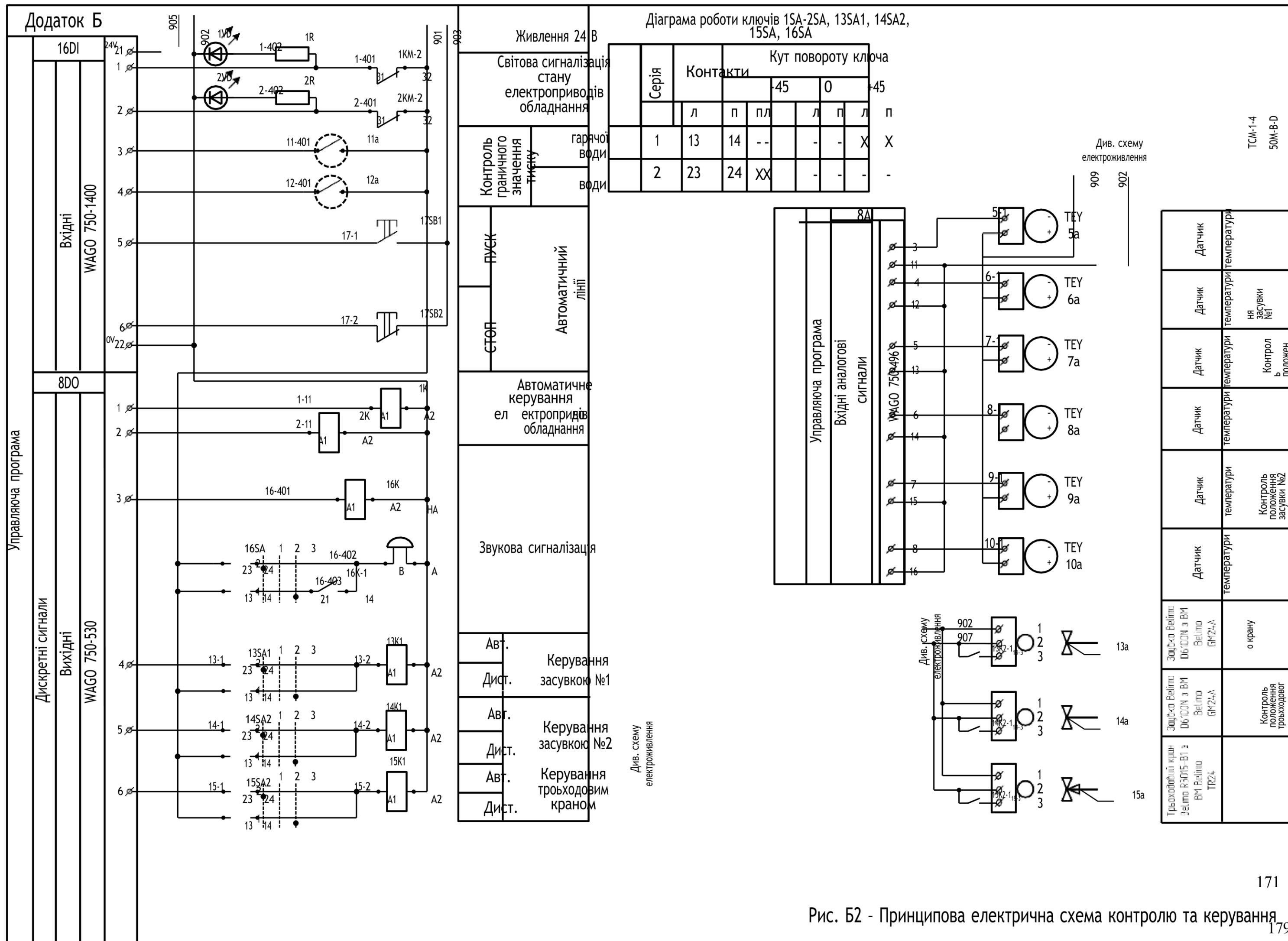
Додаток А



Позначення	Найменування
— 1 —	Вода
— 3 —	Повітря
— СЗ —	Сирні заготовки
— ГС —	Готовий сир
	Прилад багатофункціональний, що показує, сигналізує, переключає та задає

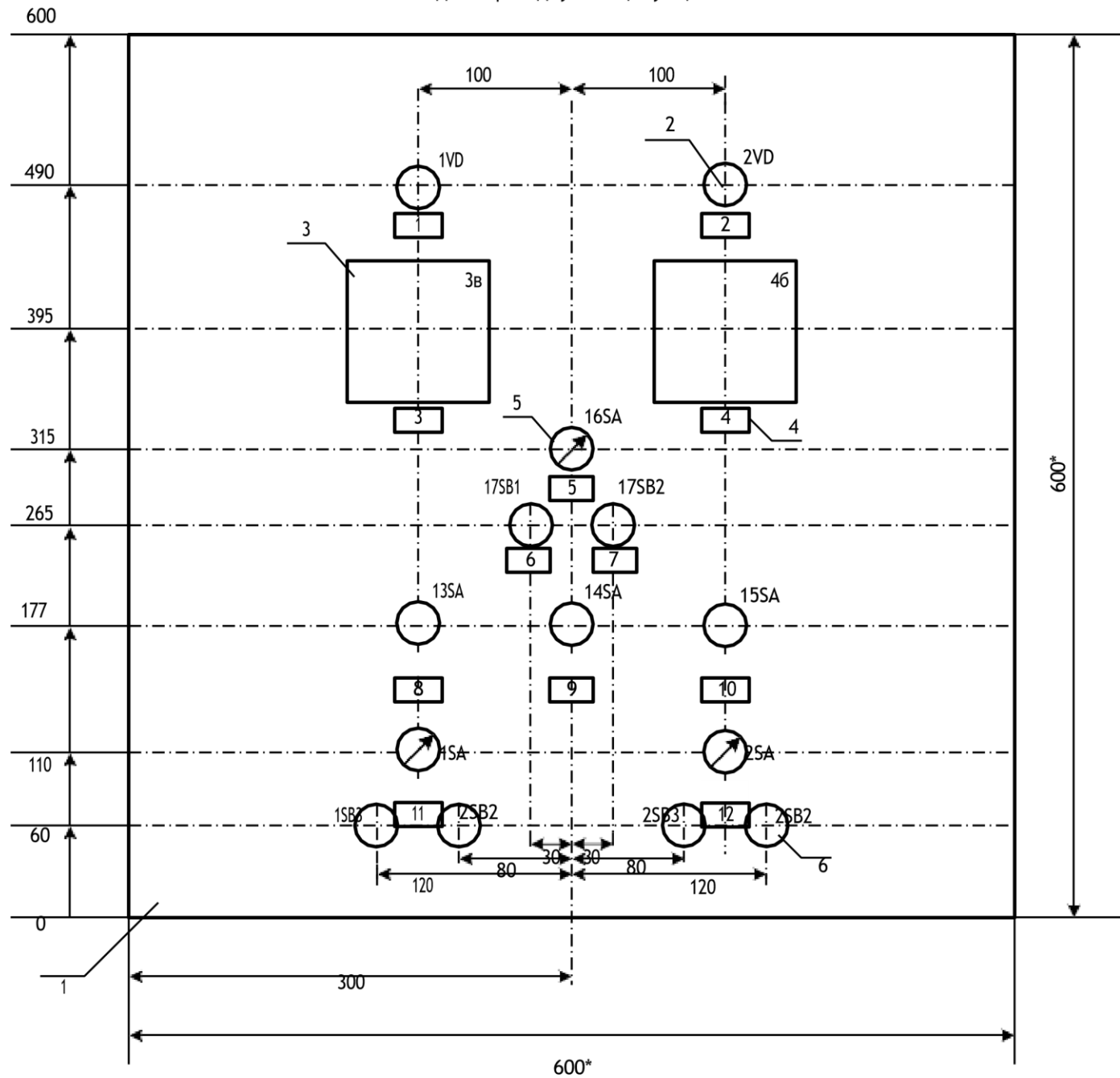
Найменування контурів	Операторський пункт										Прилади за місцем		
	ПК					Щит оператора					Прилади		
	H	A	R	I	Y	A	C	S	Y	МПК			
Керування та контроль стану привода обладнання	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1SA 2SA 1SB1 2SB1 H	1,2
Контроль та стабілізація вологості повітря в камері	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1SA 2SA 1SB2, 1SB3 2SB2, 2SB3 H	3
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	13SA HS DO	15
Контроль та стабілізація температури повітря в камері	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	14SA HS DO	16
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	15SA HS DO	17
Контроль температури зовнішнього повітря	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	16SA HS DO	18
Контроль температури гармоної води	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	17SB1 H DI	19
Контроль температури повітря після калориферу	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	17SB2 H DI	20
Контроль температури повітря після камери зрошування	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Контроль температури решітчастого повітря	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Контроль температури теплової води	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Контроль граничного тиску гарячої води	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Контроль граничного тиску гарячої води	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Контроль положення засувки №1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Контроль положення засувки №2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Контроль положення гребльового крану	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Передпускова звукова сигналізація	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Автоматичний ПУСК-СТОП ліній	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		

Рис. А - Схема автоматизації 176



Додаток Г

Вид на фасадну площину щита

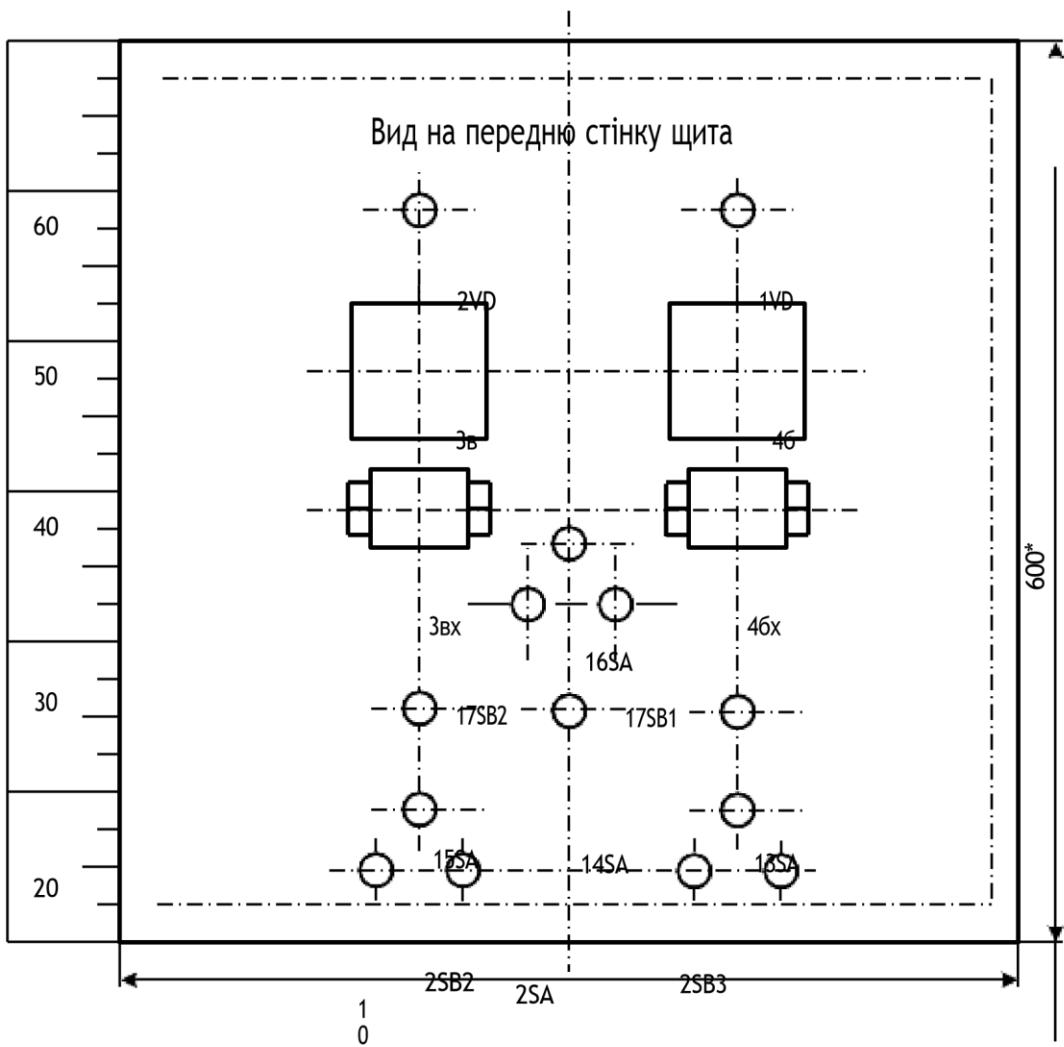
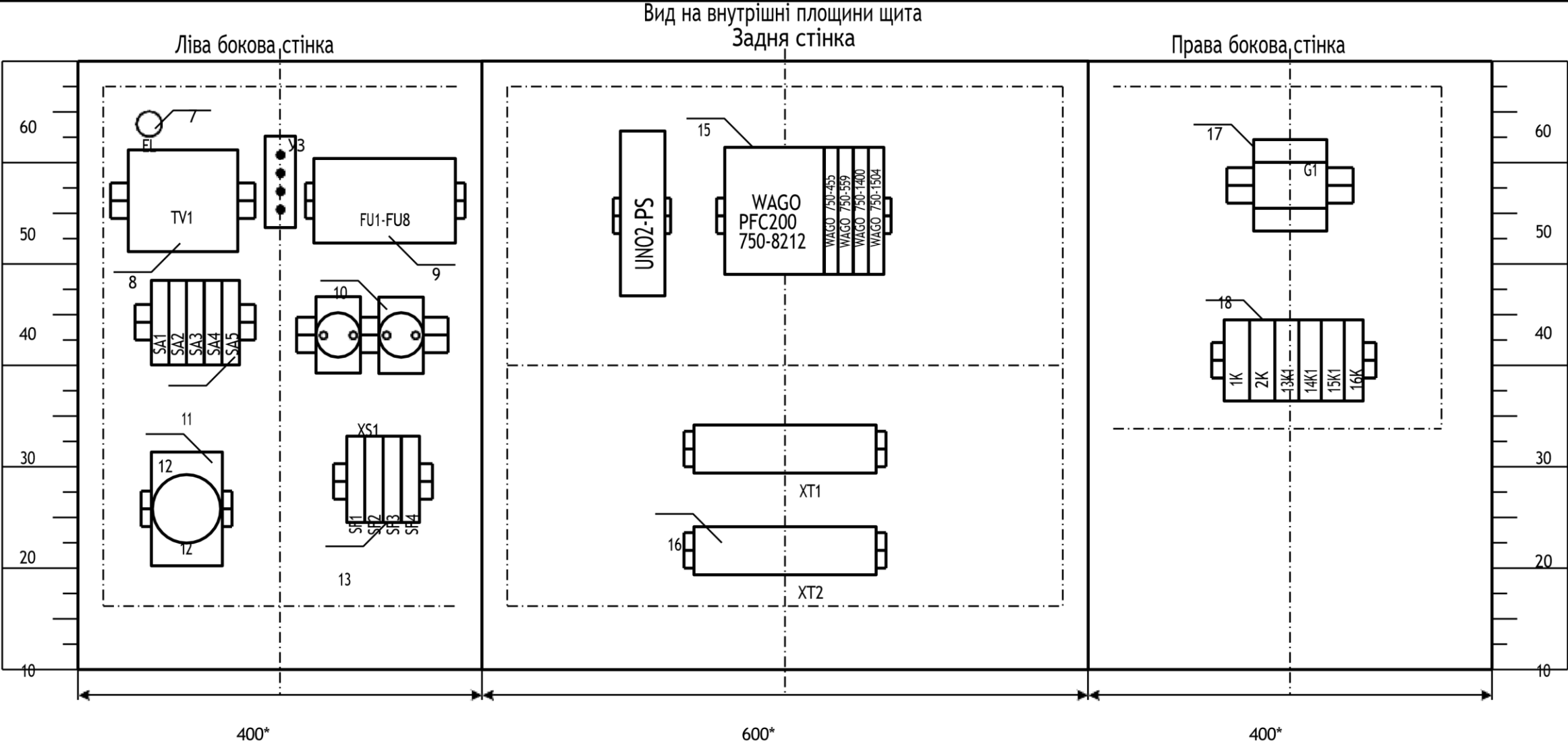


Примітка:

1. * Розмір для довідки.
2. Щит покрити плівкою блакитного кольору.
3. Надписи у рамках виготовити методом комп'ютерної поліграфії.
4. Щит встановити на підставці висотою 1000 мм.

Надписи у рамках

Номер надпису	Надпис	Кількість
1	Зупинка двигуна подачі холодної води	1
2	Зупинка двигуна гарячої води	1
3	Вологість повітря в камері	1
4	Температура повітря в камері	1
5	Звук. сигнал Вкл. - Відкл. - Авт.	1
6	Автомат. Пуск ділянки	1
7	Автомат. Зупинка ділянки	1
8	Засувка №1 Закр. - Відкр. - Авт.	1
9	Засувка №2 Закр. - Відкр. - Авт.	1
10	Трьохходовий клапан Закр. - Відкр. - Авт.	
11	Двигун живильника Дист. - Відкл. - Авт.	
12	Двигун шнека Дист. - Відкл. - Авт.	



Примітка:
Штрих-пунктиром показані напрями
внутрішніх проводок та розташування
коробів

