

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Навчально-науковий інститут Комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова
Факультет	Автоматизації та робототехніки
Кафедра	Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем
Ступінь ви- щої освіти	Бакалавр
Спеціальність	151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітня про- грама	«Комп'ютерно-інтегровані робототехнічні системи»

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Тема: **«Роботизація і автоматизація технологічного процесу пакування
дой-паків»**

Розробив	М.А. Абаєв
Керівник д.т.н., доцент	В.Б. Єгоров
Зав. кафедри АТПіРС д.т.н., професор	В.А. Хобін
<i>«е-версія роботи ідентична оригіналу»</i>	М.А. Абаєв
<i>«е-версію роботи прийнято»</i>	
Депозитор кафедри АТПіРС	Т.В. Волик

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Навчально-науковий інститут Комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова
Кафедра	Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітня програма	«Комп'ютерно-інтегровані робототехнічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТП і РС
д.т.н., проф. Хобін В.А.

« 02 » 09 2022 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

1. Студент **Абаєв Максим Артурович**

2. Тема кваліфікаційної роботи **«Роботизація і автоматизація технологічного процесу пакування дой-паків»**

3. Керівник кваліфікаційної роботи **Єгоров Віктор Богданович, д.т.н., доцент**

П.п. 2 і 3 затверджені наказом ОНТУ від 22 серпня 2022 року № 475-03.

4. Строк подання студентом випускної дипломної роботи - 05 червня 2023 р.

5. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали виконаних індивідуальних завдань (ІЗ) технологічної і переддипломної практик, курсових та самостійних робіт, виконаних у відповідності з ІЗ.

6. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити) :

1) Характеристика управління сушкою чаю та пакування дой-паків, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом.

2) Конкретизація задачі дотримання регламентів управління сушкою чаю, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.

3) Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів.

4) Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування сушкою чаю та пакування дой-паків.

5) Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів.

6) Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК.

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

8) Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці.

9) Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи.

7. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	Жигайло О. М., доц. каф. АТП і РС		
Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів	Жигайло О. М., доц. каф. АТП і РС		
Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САУ	Левінський В.М., доц. каф. АТП і РС		
Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	Степанов М.Т., доц. каф. АТП і РС		
Вибір ТЗА та розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК	Левінський В.М., доц. каф. АТП і РС		
Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження проекту	Дроздова В.А., доц. каф. МІЛ		

8. Дата видачі завдання 26 грудня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика управління сушки чаю та пакування дой-паків, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керуванням процесом	29.03.23 р.	виконав
2	Конкретизація задачі дотримання регламентів управління сушки чаю, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	10.04.23 р.	виконав
3	Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів	24.04.23 р.	виконав
4	Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування сушкою чаю та пакування дой-паків	25.04.23 р.	виконав
5	Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів	28.04.23 р.	виконав
6	Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК	05.05.23 р.	виконав
7	Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	19.05.23 р.	виконав
8	Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці	26.05.23 р.	виконав
9	Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи	02.06.23 р.	виконав

Студент

Абасєв М.А.

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра

Єгоров В.Б.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра Абаєва Максима Артуровича «Роботизація і автоматизація технологічного процесу пакування дой-паків» викладена на 157 сторінках, число таблиць – 27, рисунків – 126, додатків – 3, джерел з переліку посилань – 12.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування процесом сушіння чаю та пакування дой-паків.

Мета роботи – розробка та проектування РТК, що зможе вплинути на проблему з якістю виконання операції упаковки дой-паків з чаєм, замінити працівників операторів та прискорити процес роботи. Розробити систему автоматичного керування процесом сушіння чаю, яка б підтримувала регульовані змінні в регламентних зонах як в сталих, так і в перехідних режимах роботи.

Методи дослідження – при ідентифікації властивостей об'єкту керування використовувалися методи уявного активного та пасивного експерименту з подальшою обробкою їх результатів; моделі об'єкту керування та системи регулювання розроблялися в середовищі Simulink/Matlab; параметричний синтез системи керування проведений методом оптимізації показника якості її функціонування; розробка удосконаленої системи проводилася аналітично із застосуванням апарату передатних функцій. Розробка 3д моделі РТК упаковки дой-паків в програмі Fusion 360.

Отримані результати – розроблено комплексну модель процесу сушіння чаю; алгоритми керування, які забезпечують підвищення динамічної точності стабілізації регульованих змінних як в перехідних, так і в сталих режимах роботи САР; алгоритми пуску і зупинки обладнання; програми для ПЛК, що реалізують ці алгоритми; інтерфейси АРМ оператор-технолога і наладчика САР; фрагменти документації технічного забезпечення системи керування. Розроблена модель РТК пакування дой-паків, що зможе замінити працівників операторів та прискорити процес роботи.

Ключові слова: автоматизація, об'єкт керування, система автоматичного керування, імітаційне моделювання, оптимальний параметричний синтез, принципова

електрична схема, проектування, моделювання, розробка, робототехнічний комплекс, промисловий робот, FANUC, FESTO

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ	12
Вступ	13
РОЗДІЛ 1. Характеристика управління сушки чаю та пакування дой-паків, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом.....	14
1.1 Складання схеми та опис суті технологічного процесу, реалізованого технологічним агрегатом, як цілеспрямованого перетворення матеріальних і енергетичних потоків.....	14
1.1.2 Опис конструкції технологічного агрегату та особливостей його експлуатації	16
1.1.3 Формулювання (у загальному виді) умов, при яких можливо й доцільно реалізувати розглянутий технологічний процес	19
1.1.4 Параметризація схеми технологічного процесу й загальна (на якісному рівні) характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.....	20
1.2.1. Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски	22
1.2.2. Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату	23
1.2.3 Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і одержання його параметричної схеми.....	24
1.3 Розробка структурної (координатної) схеми об'єкта керування.....	25
1.3.1 Конкретизація мети і завдань керування об'єктом, виявлення регульованих координат.	25
1.3.2 Вибір управляючих дій об'єкту керування.	25
1.3.3 Виділення та класифікація збурень об'єкта керування.....	26
РОЗДІЛ 2 Конкретизація задачі дотримання регламентів управління сушки чаю, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	28
2.1 Складання структурної (координатної) схеми об'єкту регулювання	28
2.2 Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів управління об'єкта регулювання в околиці його робочих режимів	28
2.2.1 Короткий порівняльний аналіз і вибір доцільних вхідних дій для експериментального дослідження з метою отримання необхідної інформації про властивості каналів об'єкту для випадку, коли вхідні змінні каналів доступні для цілеспрямованої зміни.....	28
2.2.2 Планування активного експерименту на об'єкті для обраних вхідних дій і отримання реакцій на них у ході натурного або уявного експериментів.	28
2.2.3 Аналіз отриманої в ході експерименту інформації, обґрунтування та вибір структури моделей каналів (структурна ідентифікація моделей).	29
2.2.4 Вибір методики і проведення параметричної ідентифікації моделей першого та другого порядків	29
2.3. Ідентифікація моделей статички каналів управління об'єкту регулювання з істотно нелінійними властивостями.....	31

2.3.1 Вибір і опис доцільного методу експериментальних досліджень властивостей каналів з метою отримання необхідної інформації	31
2.3.2 Планування активного експерименту на об'єкті для реалізації обраного методу та відображення результатів натурного або уявного експериментів у вигляді оцінок статичних характеристик	32
2.4.3 Аналіз отриманої в ході експерименту інформації, ітераційний підбір структури моделі з їх параметричною ідентифікацією, порівняльний аналіз моделей різної структури за статистичними критеріями, прийняття рішення з вибору моделі для опису нелінійних властивостей каналів керування.	34
2.5.1 Аналіз фізичної суті, можливих діапазонів зміни та частотних властивостей вхідних дій і їх наслідків.....	35
2.5.2 Аналіз можливостей ідентифікації моделей координатних збурень і вибір загальної структури моделей	36
2.6 Планування пасивного експерименту для збору інформації про координатні збурення, структурна і параметрична ідентифікація неконтрольованих збурень	37
2.6.1 План проведення пасивного експерименту	37
2.6.2 Оцінювання імовірнісних характеристик випадкових складових координатних збурень, аналіз оцінок щільностей імовірності, кореляційних функцій, спектральних щільностей і уточнення структури моделі (структурна ідентифікація).....	38
2.6.3 Параметрична ідентифікація моделей імовірнісних властивостей випадкових складових, оцінка результатів ідентифікації.....	39
2.7 Реалізація у середовищі імітаційного моделювання моделей каналів перетворення дій і підтвердження їх відповідності експериментальним даним	41
2.7.1 Розробка схем моделювання динаміки каналів перетворення дій, отримання перехідних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними перехідними характеристиками	41
2.7.2 Представлення моделей випадкових складових дій у виді послідовно включених генератора базового випадкового процесу („білого шуму”) і формуючого фільтра	42
2.7.3 Розробка структурних схем моделювання, генерація випадкових складових моделей вхідних дій, параметрична ідентифікація їх імовірнісних характеристик і підтвердження відповідності моделей експериментальним даним	43
2.8 Відтворення у середовищі імітаційного моделювання моделей статистики каналів перетворення дій і підтвердження їх відповідності експериментальним даним	44
2.9 Реалізація у середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту керування і підтвердження її адекватності	45
2.9.1. Повна модель ОК містить у собі повну модель каналу керування і модель вхідних дій. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 2.20. В цій схемі використані ланки Transfer Fcn (with initial outputs), що дозволило встановити необхідні початкові умови в моделях. Експериментальні дані з табл. 4.1 були введені в елемент Luck-Up Table	45
2.9.2 Проведення з моделлю об'єкта машинних експериментів, аналогічних тим натурним, при яких здійснювався збір інформації про властивості об'єкту, порівняння результатів цих експериментів, прийняття висновку про відповідність моделі експериментальним даним.....	46
РОЗДІЛ 3 Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів	47
3.1 Формулювання задач керування технологічним агрегатом.....	47

3.1.1 Декомпозиція загальної задачі керування технологічним агрегатом і формулювання приватних завдань	47
3.1.2 Обґрунтування необхідності і доцільності автоматизації кожної з приватних задач керування.	47
3.2 Формалізація вимог до вирішення задач регулювання і вибір принципу побудови системи автоматичного регулювання	48
3.2.1 Формалізація вимог до гранично-допустимим статичним і динамічним відхиленням регульованих змінних від відповідних заданих значень перехідних і динамічно сталих процесів і подання їх у формі регламентних зон регульованих змінних	48
3.2.2 Формалізація інтегральних вимог до перехідних і динамічно сталих процесів регулювання у формі інтегрального критерію оптимальності САР.....	49
3.2.3 Вибір, обґрунтування і представлення у вигляді узагальненої структурної схеми принципу побудови системи автоматичного регулювання.	49
3.3 Конкретизація структури САР і алгоритмів регулювання.....	50
3.3.1 Розробка на основі обраного загального принципу побудови САР, її найпростішої конкретної структури	50
3.3.2 Вибір кількох альтернативних варіантів типових алгоритмів регулювання, запис їх рівнянь і передаточних функцій	50
3.3.3 Розробка структурної схеми і програми цифрового імітаційного моделювання САР при детермінованих і стохастичних вхідних впливах	51
3.4 Параметричний синтез САР з різними варіантами типових алгоритмів регулювання та їх порівняльний аналіз для детермінованих вхідних впливів	52
3.4.1 Вибір початкових наближень параметрів налаштування алгоритмів регулювання на основі інженерних методик параметричного (неоптимального) синтезу САР.....	52
3.4.2 Параметричний оптимальний синтез САР з альтернативними алгоритмами регулювання для детермінованих (східчастих) вхідних впливів.	52
3.4.3 Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах за значенням критерію оптимальності і показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.	53
3.5 Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК	55
3.5.1 Вибір параметрів ОК, по яким доцільно оцінити грубість САР до варіацій їх значень і планування машинного експерименту з оцінки грубості.	55
3.5.3 Вибір з розглянутих поєднань параметрів ОК найбільш «несприятливих» і «сприятливих» для керування.....	56
3.6. Аналіз сталих процесів в САР при стохастичних вхідних впливах	57
3.6.1 Для оцінки якості функціонування САР в сталому режимі необхідно в моделі ОК підключити замість постійної складової випадкову складову неконтрольованого $f_n(t)$ збурення.	57
3.6.2 Порівняльний аналіз сталих процесів для поєднань параметрів ОК, відповідних сприятливим, номінальним і несприятливим властивостями ОК за інтегральним показником і показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.	59
3.7 Структурний синтез САР підвищеної динамічної точності	60
3.7.1 Аналіз особливостей об'єкта регулювання, що знижують динамічну точність і вибір способів її підвищення за рахунок введення в структуру САР додаткових зв'язків, що забезпечують, наприклад, її інваріантність, автономність, компенсацію запізнювання і т. д.	60

3.7.3 Вивід передаточних функцій коригуючих зв'язків, аналіз їх структури з умов фізичної можливості бути реалізованим, приведення до фізично реалізується увазі, подання до формі з'єднання типових динамічних ланок та отримання перехідних характеристик	61
3.8. Розробка структурної схеми і програми цифрового імітаційного моделювання та параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності для детермінованих (східчастих) вхідних впливів.	62
3.9. Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів об'єкта регулювання	63
3.9.1 Вибір параметрів ОК, по який доцільно оцінити грубість САР значень їх варіацій і планування машинного експерименту з оцінки грубості.	63
3.9.2 Порівняльний аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.	63
3.10. Аналіз сталих процесів в САР при стохастичних вхідних впливах	65
3.11 Порівняльний аналіз САР базової структури і підвищеної динамічної точності	66
3.11.1 Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних САР по величинам критеріїв і показників, на які встановлено гранично-допустимі значення.....	66
3.11.2 Порівняльний аналіз сталих процесів в параметрично оптимальних САР	68
3.11.3 Порівняльний аналіз грубості параметрично оптимальних САР	68
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування сушкою чаю та пакування дой-паків.....	69
Вступ.....	74
4.1 Розділ	77
Ознайомлення з ключовою ділянкою та її тех.завданням, постановка задачі”. Розробка РТК для пакування дой-паків.	77
2. Розділ	84
Проробітка ділянки та розробка рішення під РТК . Проектування та Моделювання. Побудова 3D світу . Пояснення своєї розробки. Підбір та обґрунтування вибору ТСА для реалізації рішення	84
3. Розділ “Креслення моделей”	88
Висновок:.....	89
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні	90
процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.....	90
5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення.....	90
5.1.1 «Правила улаштування електроустановок» визначають.....	90
5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання	96
5.2.1 Для виміру температури гарячого та відпрацьованого повітря застосований датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П), діапазон 50 -150 °С.....	96
5.2.2 Нормуючий вимірювальний перетворювач ПСТ (0/150) – 100П.....	96
5.2.3 Для виміру вологості чаю на виході із сушарки застосований датчик вологості мікрохвильовий Hydro-Mix ХТ. Його зовнішній вигляд і технічні характеристики наведені на рисунку 5.3.....	97
5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу	97

5.3.1 Для регулювання витрат гарячого повітря застосована заслінка, яка входить в комплект сушарки. В якості приводу для заслінки використаний електропривід BELIMO LH24A-SR100, степінь захисту корпусу IP54.....	97
5.3.1 Для прямого пуску та зупинки електроприводів сушарки обрані наступні технічні засоби.....	98
5.4. Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі	99
5.4.1 Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи. Виконавши аналіз системи автоматизації подрібнення м'яса за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні оброблятися в керуючому пристрої - контролері.	99
5.4.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.	100
РОЗДІЛ 6	107
РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ САУ	107
6.1 Програмне конфігурування контролера	107
6.2 Розробка програмного забезпечення	108
6.2.1 В дереві каталогу проекту створюємо два підкаталоги Cyclic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи регулювання, та Logic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування.....	108
6.2.2 Створення підпрограм логічного керування.	110
6.6 Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК	114
Висновок.....	118
РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК	119
7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування	119
7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога	120
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога	121
7.5 Тестування системи керування.	129
Висновок: у цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом сушіння чаю сушарці. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.....	131
РОЗДІЛ 8 РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ	132
8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень	132
8.2 Розробка схеми автоматизації.....	133
8.3 Розробка принципової електричної схеми контролю та керування електроприводом.....	135
8.4 Розробка принципової електричної схеми живлення контролера та панелі оператора.....	136
8.5 Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК.....	137
8.6 Охорона праці.....	137
Висновки за розділом:.....	145

9 РОЗДІЛ. ПОПЕРЕДНЄ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ РОБОТИ	146
9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації	146
Всього	149
9.2. Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості.....	150
Висновок: розрахунок інвестиційних витрат, який підтвердив економічну доцільність модернізації системи автоматизації	151
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	152
ЛІТЕРАТУРА.....	154
ДОДАТКИ.....	155
ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації.....	155
ДОДАТОК Б Документація до принципової електричної схеми контролю та керування електроприводом.....	156
ДОДАТОК В Документація до принципової електричної схеми живлення.....	157
ДОДАТОК Г Документація до принципової електричної схеми	158

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ

ТУ – технологічне устаткування;
ТП – технологічний процес;
ОК – об'єкт керування;
САК – система автоматичного керування;
ПІ – пропорційно-інтегральний;
ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний;
ОПС – оптимальний параметричний синтез;
ЗНВ – зона незначимих відхилень;
РФ – регламент функціонування;
СЛК – система логічного керування;
КР – контур регулювання;
ФЛС – функціональна логічна схема;
ППЗС – передпускова звукова сигналізація;
ДЦП – дискретно-цифровий перетворювач;
ЦДП – цифро-дискретний перетворювач;
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
МПК – мікропроцесорний контролер;
ПЛК – програмований логічний контролер;
АРМ – автоматизоване робоче місце;
ПК – персональний комп'ютер;
ОП – операторський пункт;
ЕД – електродвигун;
ЧП – частотний перетворювач
ММ – математична модель
ВП – випадковий процес
САР ПДТ – САР підвищеної динамічної точності
РТК – робото технічний комплекс

Вступ

Технологічний процес сушіння чаю виконується в сушарці конвективного типу, де в якості теплоносія і сушильного агенту виступає повітря.

Для створення системи керування цим процесом необхідно розв'язати наступні задачі:

- а) розглянути технологічний процес сушіння чаю в сушарці як ОК, отримати його концептуальну модель;
- б) на основі результатів активних та пасивних експериментів розробити математичні моделі ОК;
- в) реалізувати математичні моделі у формі імітаційних моделей, провести їх тестування та підтвердити адекватність;
- г) провести оптимальний параметричний синтез САК базової структури з типовими алгоритмами регулювання;
- д) провести структурний і оптимальний параметричний синтез САК підвищеної динамічної точності;
- е) провести аналіз чутливості САК до варіацій параметрів об'єкту керування;
- є) провести аналіз якості регулювання розроблених варіантів САК за прямими та інтегральними показниками якості в перехідних та сталих режимах роботи.

РОЗДІЛ 1. Характеристика управління сушки чаю та пакуванням дой-паків, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керуванням процесом

1.1 Складання схеми та опис суті технологічного процесу, реалізованого технологічним агрегатом, як цілеспрямованого перетворення матеріальних і енергетичних потоків

Суть технологічного процесу – це цілеспрямоване перетворення матеріальних і енергетичних потоків у спеціальному технологічному устаткуванні.

Сушіння - це процес видалення води з матеріалів, що висушуються, шляхом випаровування. Найбільшого поширення в конвективних сушильних установках набули теплові схеми з рециркуляцією повітря, у яких частина відпрацьованої пароповітряної суміші повертається в сушильну камеру, у результаті досягається значна економія теплової енергії [1]. Однак при цьому знижується інтенсивність випаровування вологи в сушильній камері у зв'язку зі збільшенням вологості повітря та зниженням потенціалу сушіння, збільшується витрата електричної енергії на привід вентилятора через підвищення витрати циркулюючої пароповітряної суміші. Рециркуляція сушильного агента застосовується для сушіння матеріалів, для яких потрібне тонке регулювання вологості повітря в сушильній камері, завдяки чому покращуються якісні показники матеріалу, що висушується.

На рис. 1.1 наведено схему сушильної установки з рециркуляцією. У цій схемі передбачена лінія повернення частини відпрацьованої пароповітряної суміші знову в камеру змішування, решта пароповітряної суміші викидається в атмосферу.

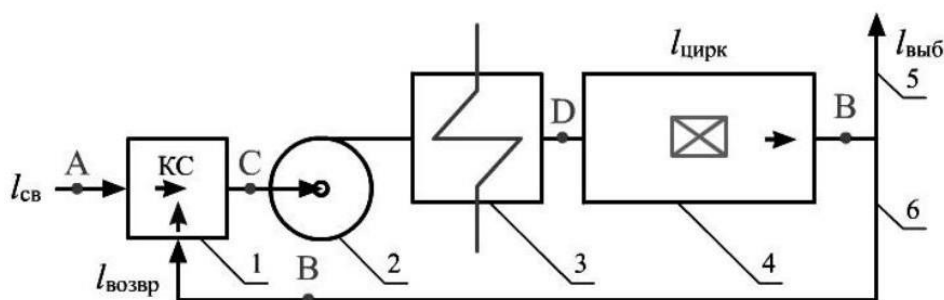


Рис. 1.1. Схема теоретичної сушильної установки з рециркуляцією повітря:

1 – камера змішування; 2 – вентилятор; 3 – калорифер; 4 – сушильна камера; 5 – відпрацьоване повітря; 6 - лінія рециркуляції

Id-діаграма процесу сушіння наведена на рис. 1.2

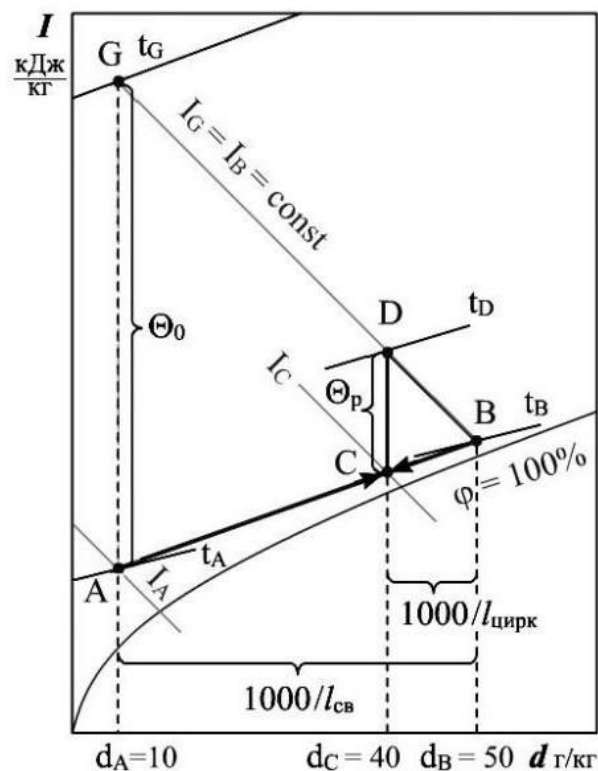


Рис. 1.2. Процес зміни стану повітря в схемі з рециркуляцією: ACB - процес змішування свіжого повітря (точка A) і відпрацьованого повітря (точка B), що повертається; CD - нагрівання суміші в калорифері; DB - адіабатичне охолодження та зволоження повітря при сушінні матеріалу

Процес ACB (рис.1.2) відповідає змішанню двох потоків: свіжого повітря з параметрами в точці A і відпрацьованого повітря з параметрами в точці, в результаті чого утворюється суміш з параметрами в точці C, яка нагрівається в калорифері (процес CD) до температури t_D . На теплову ефективність конвективних сушильних установок істотно впливає кратність рециркуляції, рівна кратності змішування, яка є відношенням витрат повертаного $l_{\text{возвр}}$ або рециркулюючого $l_{\text{рец}}$ і свіжого повітря $l_{\text{св}}$

$$K_p = l_{\text{возвр}} / l_{\text{св}} = (l_{\text{цирк}} - l_{\text{св}}) / l_{\text{св}}$$

Чим більша кратність рециркуляції K_p , тим більше параметри суміші наближаються до насиченому стану, тобто до $\phi = 100\%$. Тепловий потік i , відповідно, швидкість сушіння в рециркуляційному процесі зі збільшенням кратності циркуляції зменшуються.

1.1.2 Опис конструкції технологічного агрегату та особливостей його експлуатації.

Для сушіння чаю можна використати сушарку з киплячим шаром Kilburn Vibro Fluid Bed Dryer -KVD-A-1333 [2].



а)

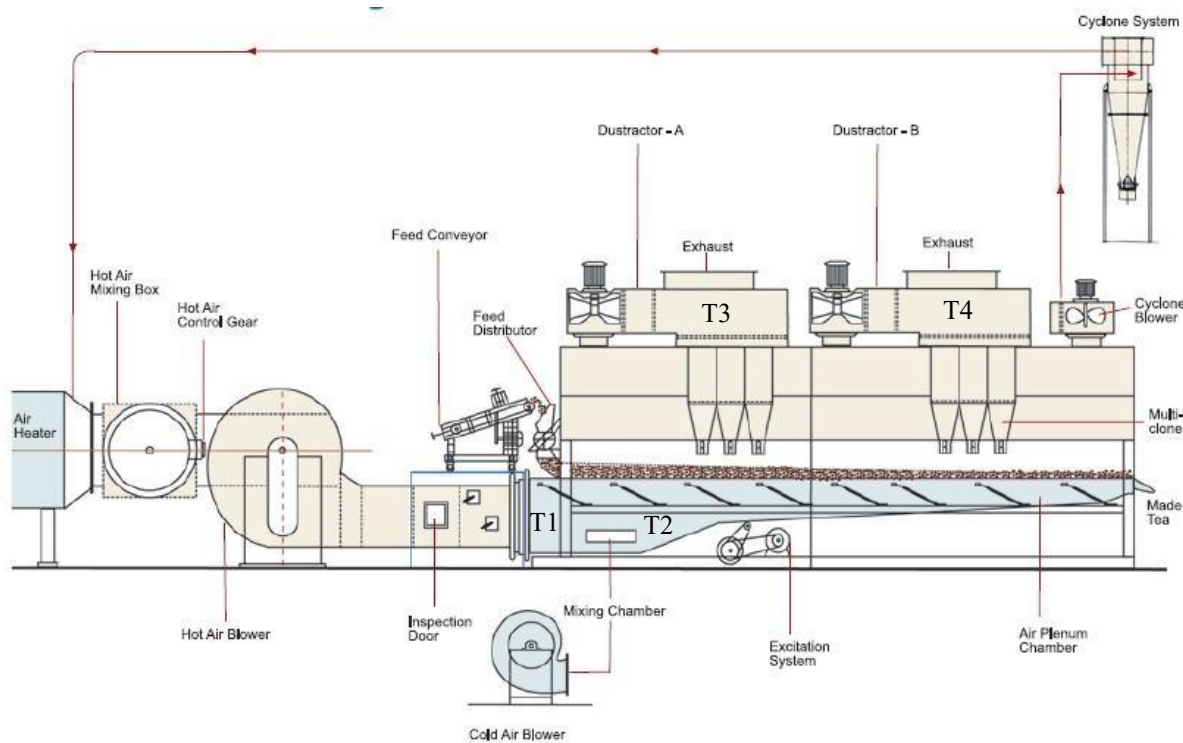
Module	033V	044V
Capacity made Tea (Kgs/Hr.) at T1 135 +/-5C (Moisture content range of leaf : 76% - 62%)	275 - 400*	375 - 550*
Water evaporation capacity (Kg/Hr.)	750	1100
Size of Drying Chamber L x W (M.M.)	8500 x 1130	8500 x 1700
Heat Load Requirement (KCAL/HR.) at 140 C	6,50,000	9,80,000
Installed Power : HP (KW)	48.5 (36.37)	67.50 (50.62)
Drying System : HP (KW)	33.00 (24.75)	42.50 (31.87)
Dust Collection : HP (KW)	15.50 (11.625)	25.00 (18.75)
Feed Conveyor	(Optional)	(Optional)
Fuel Type	Oil, Coal, Wood, Gas or Steam	
Fuel consumption per Kg of made tea (At ideal fuel & operating condition)	Direct oil fired : 0.16 Litre, Steam : 2.0-3.0 Fire Wood : 375 to 600 MT/M3, Coal : 0.40x to 0.6kg, Gas : 0.20kg	
Space Occupied L x W x H (M.M)	13830x3810x4100	14100x4700x4100
Containers (20' x 20' x 8') required w/o heater	4	5
Dryer weight excluding heater in Kgs.	10400	12800

б)

Рис. 1.3 Сушарка KVD-A-1333:

а) загальний вигляд; б) технічні характеристики

Спрощена компоновка та збірка сушарки з киплячим шаром показана на рис.1.5.



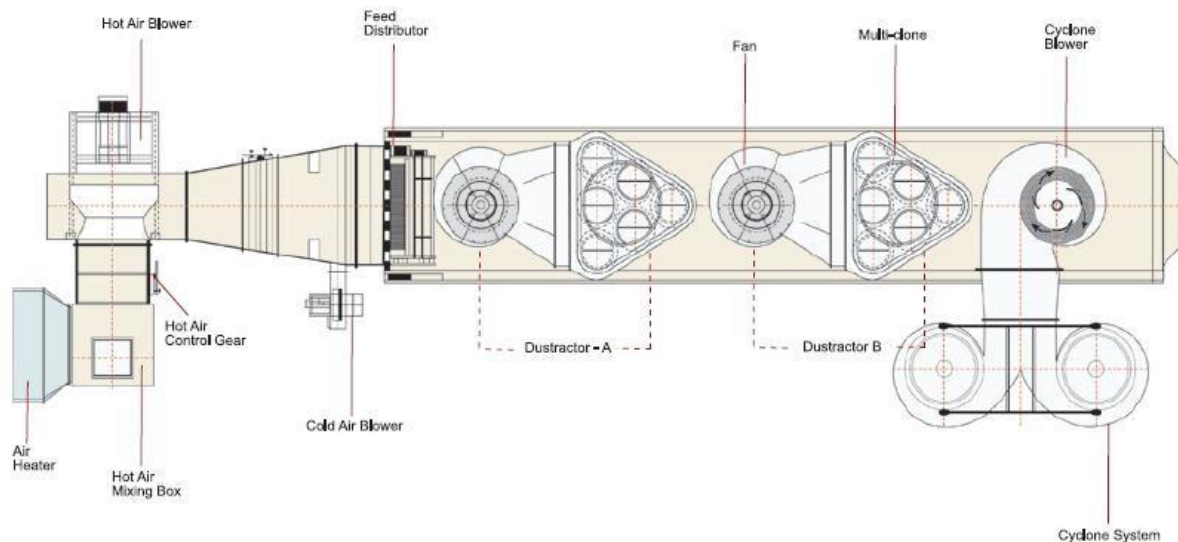


Рис. 1.4 Спрощена компоновка та збірка сушарки KVD-A-1333

Сушарка складається з системи підігріву, нагнітача гарячого повітря відцентрового типу, випускного каналу гарячого повітря, системи живлення, системи приводу та збудження, нагнітальної камери, сушильної камери, систем витяжки та знепилення та циклонної системи. Система живлення дозволяє регулювати подачу ферментованого листя чаю до сушарки та розбивання грудок у листі. Припливна камера складається з оцинкованої сталі та повністю ізольованої камери із забезпеченням двотемпературного сушіння, де в першу частину подається гаряче повітря з температурою між 100-140°C, а в другу частину подається холодне повітря з температурою між 90-120°C. Сушіння чаю відбувається за один прохід через закриту сушильну камеру, що складається з двох перфорованих пластин з нержавіючої сталі, поздовжніх пластин, розвантажувальної пластини та розвантажувального бункера. Дуплексна циклонна система здатна відокремлювати чайний пил і волокна від повітря перед вихлопом.

В [3] наводяться результати експериментів із сушаркою KVD-A-1333. Робочі температури в сушарці були наступні:

Вхід 1	T1 130-140°C Відноситься до вхідного повітря в зоні I
Вхід 2	T2 100-108°C Відноситься до вхідного повітря в зоні II
Вихлоп 1	T3 43-47°C Відноситься до швидкості подачі
Вихлоп 2	T4 85-90°C Відноситься до вологості приготовленого чаю.

Вміст вологи в чаї визначали методом інфрачервоної лампи і виражали в сухій основі. Зразки відбирали вручну з відстаней 0; 0,61; 1,22; 1,83; 2,44; 3,05; 3,66; 4,27 і 4,88 м від початку сушарки. Вимірювання повторювали чотири рази, а середнє значення брали як тестові дані. Час утримування становив 20 хв, коли чай проходив через всю сушарку довжиною 4,88 м. Вважалось, що подача чаю була рівномірною.

Взаємозв'язок між вмістом вологи, часом сушіння та положенням сушильної поверхні показано на рис. 1.5.

На ранніх стадіях сушіння чай був вологим із суцільною плівкою води, що існувала по всій поверхні. Вода, вилучена в цей період, була в основному поверхневою. Протягом цього періоду швидкість сушіння за заданих умов повітря була постійною і не залежала від вмісту вологи. Це відомо як постійна швидкість періоду висихання, а температура матеріалів протягом цього періоду наближалася до температури повітря за вологим термометром.

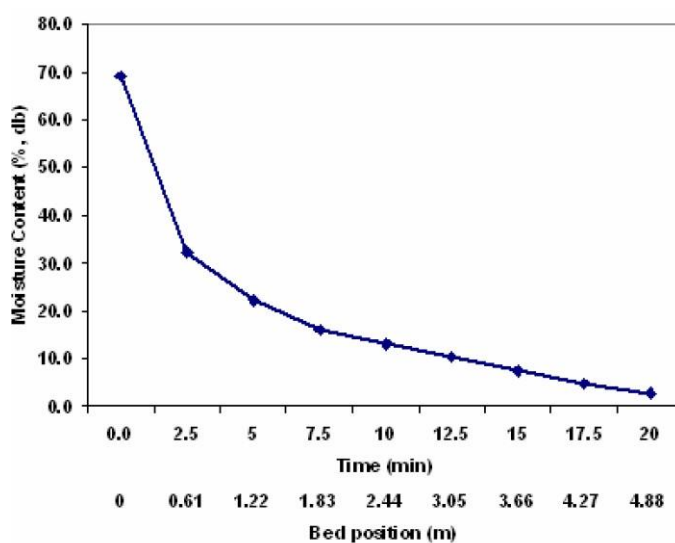


Рис. 1.5 Зв'язок між вмістом вологи, часом сушіння та положенням шару

Величина постійної швидкості сушіння залежить від площі, що піддається впливу середовища для сушіння, різниці температур між повітряним потоком і вологою поверхнею твердої речовини та швидкості повітря.

На рис. 1.6 показана швидкість сушіння чаю в сушарці з киплячим шаром. Відповідно до нього, від А до В – період постійної швидкості, від В до С – перший

період падіння швидкості, а від С до D – другий період падіння швидкості сушіння. Швидкість видалення вологи була високою, аж до вмісту вологи 30% (db).

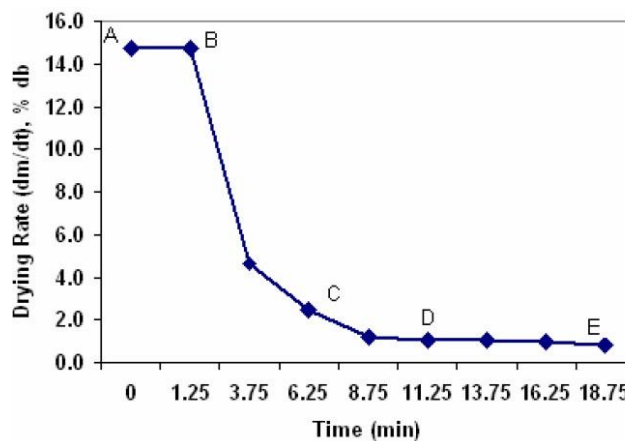


Рис. 1.6 Залежність між швидкістю висихання та часом

Прогноз швидкості сушіння важливий для проектування системи сушіння.

1.1.3 Формулювання (у загальному виді) умов, при яких можливо й доцільно реалізувати розглянутий технологічний процес.

Мета ведення процесу – отримання заданих продуктів із заданими властивостями (показниками якості). При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдано тільки тоді, коли технологічний процес має сенс реалізувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу. Найчастіше зустрічаються такі з них:

- кількість виробленого в одиницю часу продукту не повинно бути меншим встановленої межі;
- втрати сировини та (або) продукту не повинні перевищувати нормативних значень;
- питомі, тобто на одиницю продукції, витрати енергії на процес не повинні перевищувати нормативних значень;
- режими роботи технологічного обладнання не повинні виходити за гранично-припустимі;
- шкідливий вплив технологічного процесу на людину та навколишнє середовище не повинен перевищувати нормативних значень;

– порушення режимів ведення технологічного процесу та роботи обладнання, що приводять до аварійних ситуацій, переростання яких в аварію приводить до істотних економічних втрат або навіть до катастрофічних наслідків, повинні бути досить рідкісними подіями та повинні бути передбачені заходи щодо запобігання переростання аварійних ситуацій в аварію.

Технологічний процес сушіння чаю доцільно реалізовувати, якщо забезпечуються:

- масові витрати природного газу на кг чаю – 0,2 кг/кг;
- напруга живлення в електромережі 380 В $\pm$ 10%.

1.1.4 Параметризація схеми технологічного процесу й загальна (на якісному рівні) характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.

Технологічна схема є графічним відображенням руху і перетворення матеріальних та енергетичних потоків. Кожен потік і процес перетворення його механічних, фізичних, хімічних і біологічних властивостей характеризується набором параметрів, які відображають їх властивості та умови перетворення потоків. Їх нанесення на схему технологічного процесу і є її параметризацією.

Проведемо параметризацію технологічної схеми сушки чаю в сушарці KVD-A-1333. Результати параметризації наведені на рис. 1.7.

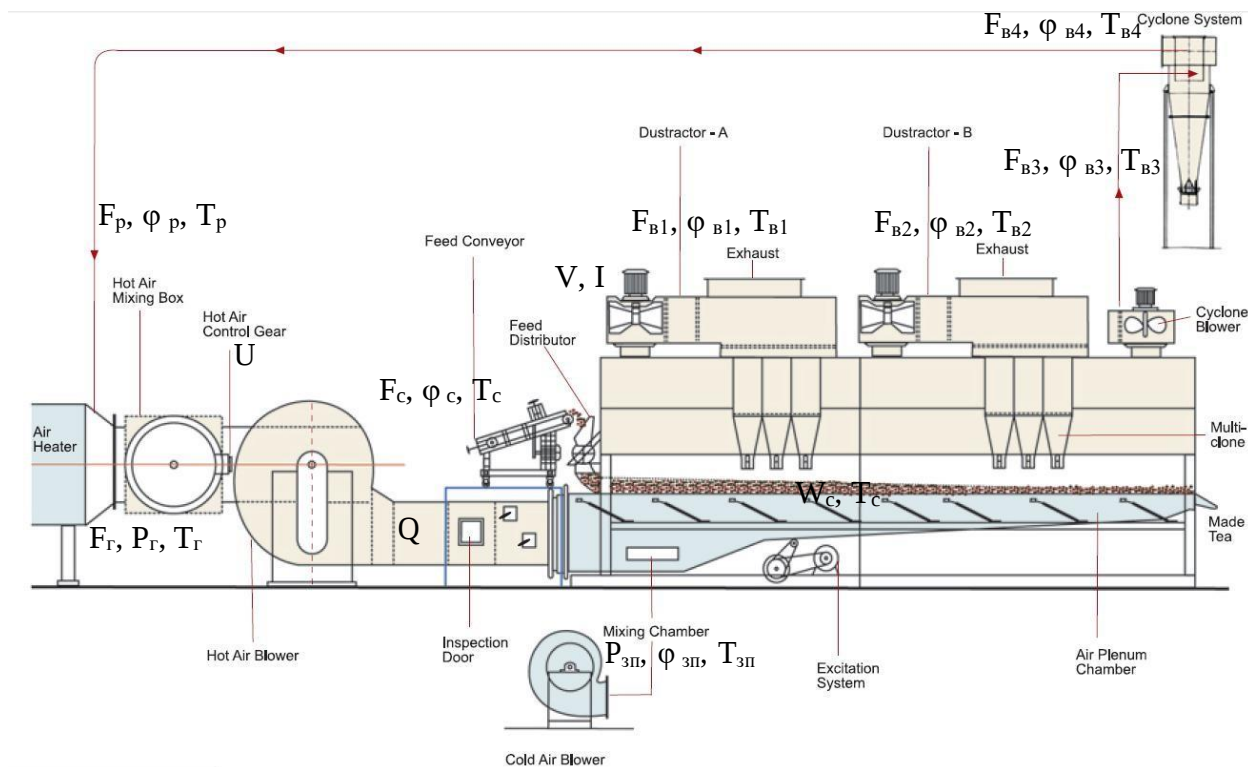


Рис. 1.7 Параметризована схема процесу сушки чаю в сушарці KVD-A-1333

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

F_c, ϕ_c, T_c – витрати, залишкова вологість, температура сирого чаю на вході;

$F_{pr}, \phi_{pr}, T_{pr}$ – витрати, залишкова вологість, температура сухого чаю на виході;

F_r, ϕ_r, T_r – витрати, відносна вологість, температура гарячого повітря;

$F_{B1}, \phi_{B1}, T_{B1}$ – витрати, відносна вологість, температура відпрацьованого повітря;

$F_{B2}, \phi_{B2}, T_{B2}$ – витрати, відносна вологість, температура відпрацьованого повітря;

$F_{B3}, \phi_{B3}, T_{B3}$ – витрати, відносна вологість, температура відпрацьованого повітря;

$F_{B4}, \phi_{B4}, T_{B4}$ – витрати, відносна вологість, температура відпрацьованого повітря;

$F_{3n}, \phi_{3n}, T_{3n}$ – витрати, відносна вологість, температура зовнішнього повітря;

U – керуюча дія на зміну витрат гарячого повітря F_r ;

Q – знос механічних частин сушарки та відкладання на стінках повітропроводів;

V, I – напруга і струм живлення двигунів електроприводів.

Основу нормативів складають три основні регламенти:

Технологічний регламент - визначає умови, при яких в результаті технологічного процесу виходить продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір

номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу сушіння чаю в сушарці таким параметром є: $\varphi_{\text{пр}}$ – залишкова вологість сухого чаю.

Експлуатаційна регламент - визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів цього технологічного обладнання. Для технологічного процесу сушіння чаю в сушарці таким параметром є: I – струм живлення двигунів електроприводів.

Техніко-економічний та екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу та його екологічності. Він являє собою набір номінальних або гранично-допустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. До цієї групи параметрів можна віднести: $F_{\text{в1}}, \varphi_{\text{в1}}, T_{\text{в1}}, F_{\text{в2}}, \varphi_{\text{в2}}, T_{\text{в2}}, F_{\text{в3}}, \varphi_{\text{в3}}, T_{\text{в3}}, F_{\text{в4}}, \varphi_{\text{в4}}, T_{\text{в4}}$ – витрати, відносна вологість, температура відпрацьованого повітря; $F_{\text{пр}}, T_{\text{пр}}$ – витрати, температура сухого чаю на виході.

1.2.1. Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, які викликаються зміною параметрів, що характеризують умови ведення процесу навіть при досить ефективному управлінні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски. Залежно від наслідків, можна виділити два характерних типи таких порушень:

- а) технологічний процес не припиняється, вихід за допуски ліквідується з плинном часу, наприклад, за рахунок управління процесом;
- б) технологічний процес припиняється повністю або частково, для його поновлення часто необхідна підготовка обладнання до повторного запуску (видалення сировини з машин, чистка робочих органів, їх заміна і т.д.).

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від номінальних прийнято поділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі і короткочасні відхилення.

Тривало допустимі відхилення визначають зону незначущих для даного процесу відхилень (ЗНВ) розглянутого параметра. Усередині цієї зони значення параметра можна вважати приблизно рівним нормативному, тому відхилення, що не виходять з ЗНВ, можна не усувати.

Короточасні допустимі відхилення параметрів перевищують їх ЗНО та призводять до зниження ефективності процесу, тому вони допустимі лише обмежений час, який задається і входить до регламенту. Вихід параметрів за зону короточасно допустимих відхилень свідчить про порушення в технологічному процесі або в експлуатації обладнання, які можуть призвести до аварії.

Аналіз нормативів ведення технологічного процесу та експлуатації обладнання оформимо у вигляді таблиці регламентів.

Таблиця 1.2 Таблиця регламентів

№	Найменування параметрів	Позн.	Одиниця виміру	Номінальне значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Тривалі	Короточасні	Час, с
1	Залишкова вологість сухого чаю на виході з сушарки	$\Phi_{\text{пр}}$	%	4	$\pm 0,5$	± 1	300

1.2.2. Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату.

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних внаслідок зміни умов, в яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами і можуть бути згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо: F_c , ϕ_c , T_c – витрати, залишкову вологість, температуру сирого чаю на вході в сушарку.

Енергетичні параметри характеризують енергію, яка підводиться до технологічного устаткування ззовні і витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо: V – напругу живлення двигунів електроприводів; $F_{\text{зп}}$,

$\phi_{зп}$, $T_{зп}$ – витрати, відносна вологість, температура зовнішнього повітря; $F_{г}$, $\phi_{г}$, $T_{г}$ – витрати, відносна вологість, температура гарячого повітря;

Механічні параметри технологічного обладнання характеризують стан його робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо: Q – знос механічних частин сушарки та відкладання на стінках повітропроводів; U – керуюча дія на зміну витрат гарячого повітря $F_{г}$.

1.2.3 Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і одержання його параметричної схеми.

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

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

Параметрична схема процесу сушіння чаю в сушарці наведена на рис. 1.8.

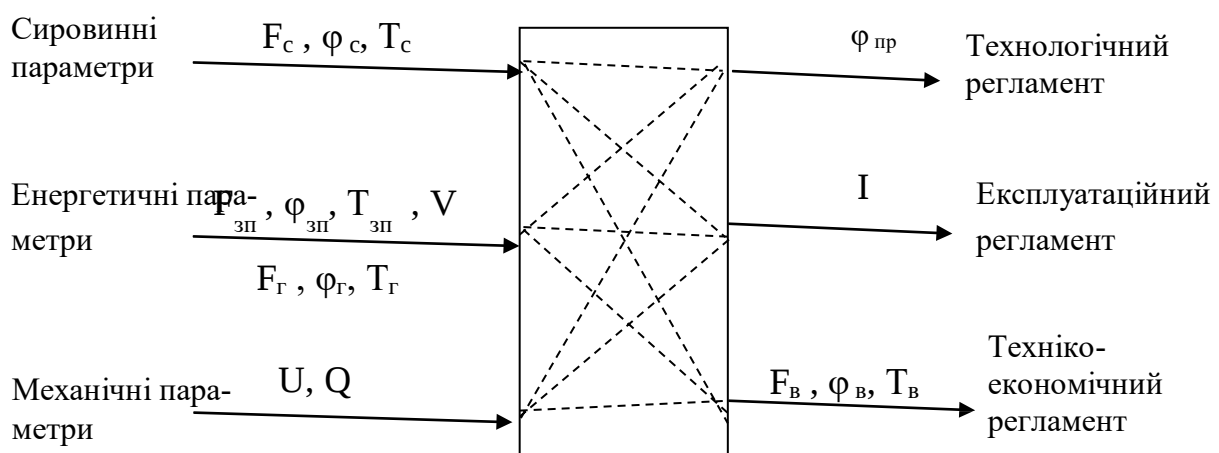


Рис.1.8 – Формалізована параметрична схема процесу сушіння чаю в сушарці

1.3 Розробка структурної (координатної) схеми об'єкта керування

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

Загальною метою функціонування підприємства в цілому є виконання планових завдань або договірних зобов'язань щодо номенклатури та обсягу продукції, а також отримання при цьому певного економічного ефекту. Останній характеризується показниками прибутку, собівартості, розмірами виплачених штрафних санкцій і т.і.

Декомпозиція загальної («глобальної») мети для більш низьких рівнів виробничої ієрархії приводить до наступних цілей:

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

Звідси задачу керування можна розділити на:

- а) задачу регулювання, коли необхідно забезпечити виконання вимог регламенту. Отже, змінні, що відповідають технологічним і експлуатаційним параметрам будуть регульованими змінними об'єкту керування;
- б) завдання умовної оптимізації, коли при дотриманні вимог регламенту додатково відповідно до наперед сформульованим критерієм, вирішуються задачі оптимізації процесу.

Для процесу сушіння чаю в сушарці в якості регульованої координати доцільно обрати $\varphi_{\text{пр}}$ – залишкова вологість сухого чаю на виході з сушарки.

1.3.2 Вибір управляючих дій об'єкту керування.

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

Для процесу сушіння чаю в сушарці до управляючих впливів доцільно віднести:
 U – керуюча дія на заслінку, яка змінює витрати гарячого повітря F_r .

1.3.3 Виділення та класифікація збурень об'єкта керування.

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

Збурення за їх наслідками можна розділити на:

а) «сильні» і «слабкі»;

б) координатні, що призводять до зміни змінних у моделі, і параметричні, що приводять до зміни параметрів моделі;

в) збурення, наслідки яких необхідно усувати, і шуми.

Шуми принципово відрізняються від інших збурень тим, що наслідки їх дії або пов'язані з перекручуваннями результатів вимірювання змінних (координат), або з високочастотними змінами цих змінних, компенсувати які, хоча б частково, за рахунок управляючих дій неможливо через більшу інерційність та запізнення каналу управління.

Інформацію про найбільш сильні збурення доцільно використовувати в керуючому пристрої для підвищення якості керування. Тому, у цьому випадку, відповідні вхідні змінні необхідно виділити з маси інших. Їх називають контрольованими збуреннями. Введення контрольованих збурювань ускладнює математичну модель, тому їх вибір повинен бути досить обґрунтований.

Всі неконтрольовані координатні збурення (хоча їм відповідають зовсім різні параметри ТП) формально поєднують у групи неконтрольованих координатних збурювань (за числом керуючих дій) вони мають загальні (контрольовані) наслідки – змушують змінюватися керовані змінні. Еквівалентні координатні неконтрольовані збурення вважають діючими адитивно або управляючих дій, або керованих змінних. У цих випадках їх фізична інтерпретація і розмірність їх одиниць вимірювання визначається точкою їх додавання. У деяких випадках зручно детерміновану складову збурень приводити до управляючих дій, а стохастичну – до керованої змінної.

Параметричні збурення при керуванні ТП, як правило, є неконтрольованими. Спектральний склад збурень істотно різний для різних груп збурень. Для «наших умов» усі збурення, що прикладаються до об'єкта оптимізації, є істотно більше низькочастотними у порівнянні зі збуреннями, що прикладаються до об'єкта регулювання. Параметричні збурення є істотно більше низькочастотними у порівнянні з координатними. Самими найвисокочастотнішими збуреннями є шуми.

Всі вхідні дії, крім управляючої дії, віднесемо до неконтрольованих збурень f_n . Детерміновану складову цих збурень адитивно прикладемо до управляючих дій, а стохастичну складову – до регульованої координати.

РОЗДІЛ 2 Конкретизація задачі дотримання регламентів управління сушки чаю, робота і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання

2.1 Складання структурної (координатної) схеми об'єкту регулювання

Структурна схема ОК є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК.

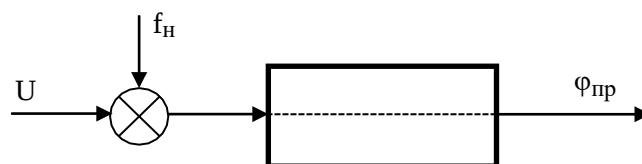


Рис.2.1 - Структурна схема процесу сушіння чаю в сушарці як об'єкта регулювання

U – керуюча дія на заслінку, яка змінює витрати гарячого повітря F_g ;

f_n - вектор неконтрольованих збурень;

$\Phi_{пр}$ – регульована змінна – залишкова вологість сухого чаю на виході з сушарки.

2.2 Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів управління об'єкта регулювання в околиці його робочих режимів

2.2.1 Короткий порівняльний аналіз і вибір доцільних вхідних дій для експериментального дослідження з метою отримання необхідної інформації про властивості каналів об'єкту для випадку, коли вхідні змінні каналів доступні для цілеспрямованої зміни

Активні експерименти можуть проводитися тільки з каналами, вхідні змінні яких доступні для цілеспрямованої зміни. Ними, насамперед, є керуючі дії. З розуміння простоти організації цих змін, мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробки його результатів, доцільно використовувати ступінчасті дії. Для спрощення обробки результатів доцільно подавати дії по черзі на кожен з каналів окремо, фіксуючи реакції всіх виходів.

2.2.2 Планування активного експерименту на об'єкті для обраних вхідних дій і отримання реакцій на них у ході натурного або уявного експериментів.

План активного експерименту:

1. За допомогою зміни управляючої дії домагаємося значення регульованої координати в околиці її номінального значення. Для нашого ОК значенню $U=60\% \text{ х.р.о.}$ буде відповідати значення регульованої координати

$\varphi_{\text{пр}} = 5\%$ залишкової вологості.

2. Чекаємо закінчення перехідного процесу в каналі та настання сталого режиму, при якому вихідна змінна перестає змінюватися.

3. Змінюємо управляючу дію ступінчастим чином на 10%, відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну вихідної змінної до настання нового сталого режиму.

Результати активного експерименту при зміні $U \text{ } 60\% \rightarrow 70\% \text{ х.р.о.}$ наведені на рис. 2.1.

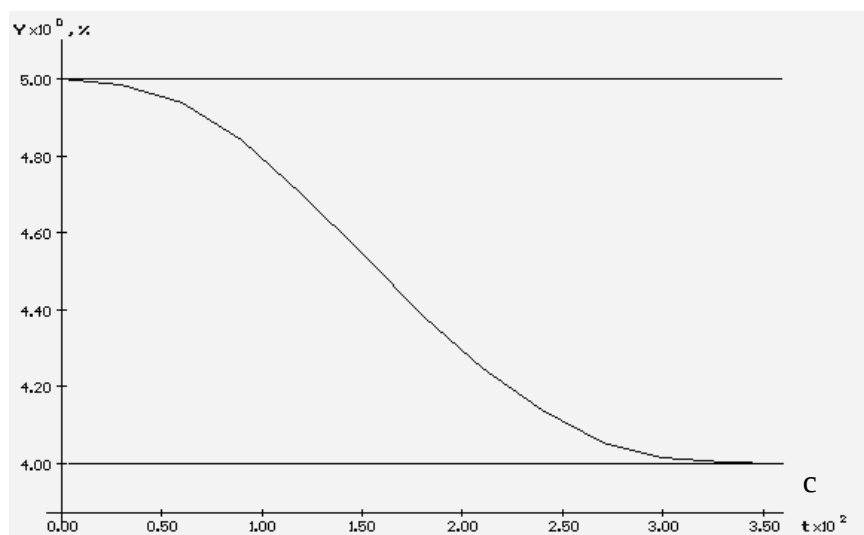


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту за каналом $U - \varphi_{\text{пр}}$

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

За результатами активних експериментів (рис. 2.2) ОК по каналу керування $U - \varphi_{\text{пр}}$ має властивість до самовирівнювання, а отже модель цього каналу може бути описана передатними функціями інерційної ланки першого та другого порядку:

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

2.2.4 Вибір методики і проведення параметричної ідентифікації моделей

першого та другого порядків

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 каналу $U - \phi_{\text{пр}}$:

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{h_{\text{max}}}{h_{\text{max}} - h_{\text{min}}} = \frac{4 - 5}{0 - 0} = -0,1$$

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 методику «двох загальних точок». Відповідно до неї, для моделі 1-го порядку:

$$r_o = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7});$$

$$T_o = \frac{(t_{0,7} - r_o)}{1,2};$$

для моделі 2-го порядку:

$$r_o = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7});$$

$$T_o = (t_{0,7} - r_o)/2,4.$$

Значення $t_{0,19}$, $t_{0,33}$, $t_{0,7}$ отримуються в програмі IDENT графічними побудовами, показано на рис. 2.2 і 2.3.

Для моделі 1-го порядку

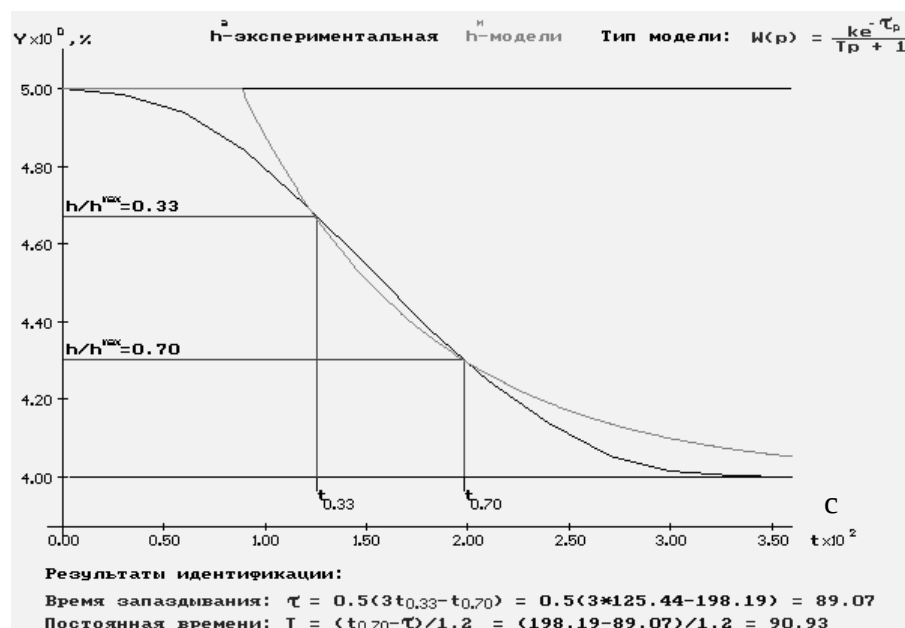


Рис. 2.3 - Параметрична ідентифікація каналу $U - \phi_{\text{пр}}$

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

$$W(p) = \frac{-0,1 * e^{-89p}}{91p + 1}$$

Якщо параметри моделі ОК 1-го порядку були визначені правильно, то її графік повинен пересікати графік перехідної характеристики якраз на рівнях $T_{п\ 0,33}$ та $T_{п\ 0,7}$ (див. рис. 2.2).

Для моделі 2-го порядку

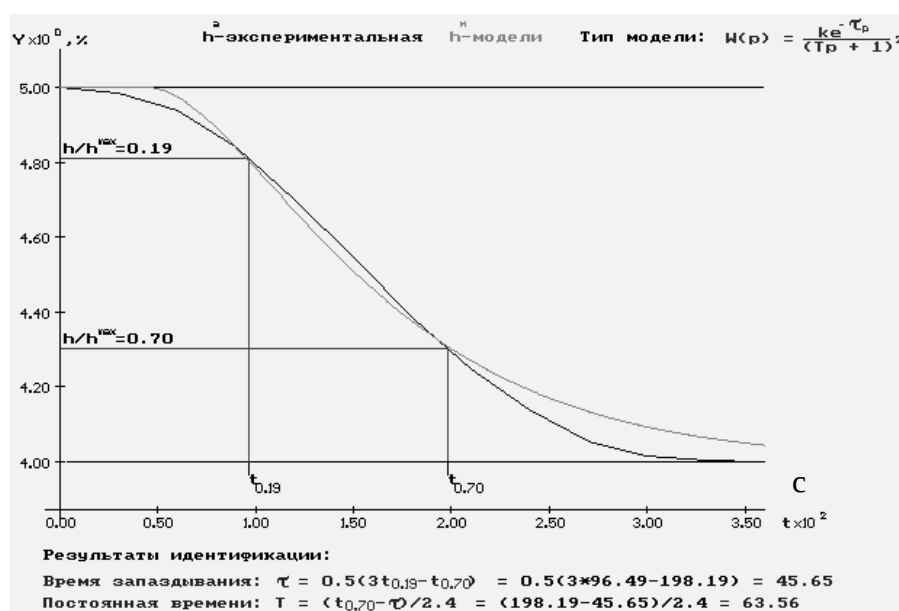


Рис. 2.3 - Параметрична ідентифікація каналу U- $\phi_{пр}$

Передатна функція моделі ОК 2-го порядку буде мати вигляд;

$$W(p) = \frac{-0,1 * e^{-45,7p}}{(63,6p + 1)^2}$$

Якщо параметри моделі ОК 2-го порядку були визначені правильно, то її графік повинен пересікати графік перехідної характеристики якраз на рівнях $T_{п\ 0,19}$ та $T_{п\ 0,7}$ (див. рис. 2.3).

2.3. Ідентифікація моделей статички каналів управління об'єкту регулювання з істотно нелінійними властивостями

2.3.1 Вибір і опис доцільного методу експериментальних досліджень властивостей каналів з метою отримання необхідної інформації.

Статичні властивості ОК описуються статичними характеристиками (моделями) каналів. Вони відображають взаємозв'язок між вхідними і вихідними координатами (змінними) каналів ОК в статично сталих режимах, тобто після закінчення всіх перехідних процесів цих змінних.

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

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

У теорії експерименту змінні x називають факторами, а їх функцію y – 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). Активні експерименти за планом їх проведення можуть бути звичайними і оптимальними. Оптимальні плани розробляються на основі теорії методів планування експериментів.

Для визначення статичної характеристики технологічного процесу сушки чаю в сушарці як ОК виберемо активний однофакторний експеримент.

2.3.2 Планування активного експерименту на об'єкті для реалізації обраного методу та відображення результатів натурального або уявного експериментів у вигляді оцінок статичних характеристик.

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

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

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

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

Для визначення статичної характеристики технологічного процесу сушки чаю в сушарці як ОК виберемо діапазон зміни керуючого впливу від 10%хро до 90%хро, а крок зміни $\Delta U = 10\% \text{хро}$.

Результати експерименту для визначення статичних характеристик ОК зведено в таблицю 2.1 та на рис. 2.4.

Таблиця 2.1. Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

№ пп	U, %х.р.о.	$\varphi_{\text{пр}}$, %
1	10	10
2	20	9
3	30	8
4	40	7
5	50	6
6	60	5
7	70	4
8	80	3
9	90	2

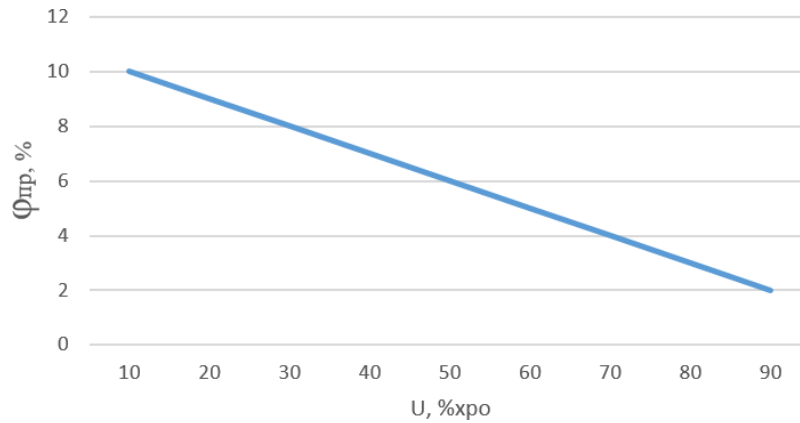


Рис. 2.4 Результати експерименту
для визначення статичної характеристики ОК

2.4.3 Аналіз отриманої в ході експерименту інформації, ітераційний підбір структури моделі з їх параметричною ідентифікацією, порівняльний аналіз моделей різної структури за статистичними критеріями, прийняття рішення з вибору моделі для опису нелінійних властивостей каналів керування.

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії. Для проведення параметричної ідентифікації моделі статички ОК доцільно використовувати метод найменших квадратів. Суть методу полягає в пошуку такого вектору $\vec{a}$ параметрів вибраної моделі, що забезпечував би мінімальну суму квадратів розходження між значеннями вихідної змінної об'єкта, отриманих у результаті експерименту y_i , при значеннях вхідних змінних x_i , і вихідних змінних моделі об'єкту y_i^m , обчислених при тих же значеннях x_i , тобто

$$\vec{a}^* = \operatorname{argmin} \{ I(\vec{a}) = \sum_{i=1}^n (y_i(x_i) - y_i^m(a, x_i))^2 \}.$$

Для досліджуваного ОК, як видно з рис. 2.4, статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$$p = a_0 + a_1$$

Параметр a_1 був визначені в процесі ідентифікації в підрозділах 2.2. При цьому $a_1 = K_0 = -0,1 \text{ \%}/\text{\%х.р.о.}$

Параметр a_0 можна визначити із залежності:

$$a_0 = p - a_1 = 5 - (-0,1 \cdot 60) = 11$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК може бути описана залежністю:

$$p = a_0 + o \cdot = 11 - 0,1 \cdot$$

2.5 Априорний аналіз вхідних впливів

2.5.1 Аналіз фізичної суті, можливих діапазонів зміни та частотних властивостей вхідних дій і їх наслідків.

Для технологічного процесу сушки чаю в сушарці як ОК всі вхідні дії, крім управляючої дії, були віднесені до неконтрольованих збурень f_n (див. рис. 1.9).

Слід зазначити, що неконтрольовані збурення на ОК не є чітко певними фізичними параметрами. Вони є певною математичною абстракцією, про яку відомою є лише реакція системи регулювання на них. Діапазон їх зміни доцільно прив'язувати до фізичного діапазону зміни управляючих дій. З теорії автоматичного керування відомо, що фізичний діапазон зміни управляючої дії лежить у межах 0...100 %х.р.о., а діапазон зміни неконтрольованих збурень може становити приблизно 10...15% від діапазону зміни управляючої дії, тобто становить приблизно 10...15 %х.р.о. (якщо неконтрольовані збурення прикладені до управляючої дії), або (10...15) y_0 (якщо неконтрольовані збурення прикладені до регульованої координати).

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

$$f(t) = \bar{f}(t) + \tilde{f}^n(t) + \tilde{f}^c(t) + \tilde{f}^u(t),$$

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

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

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

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

Варто враховувати, що складові $\bar{f}(t)$, $\tilde{f}^n(t)$ є відносно низькочастотними діями, несприятливі наслідки яких САК повинна і може компенсувати.

Складова $\tilde{f}^u(t)$ пов'язана або із шумами у вимірювальних каналах, або з високочастотними збуреннями, наслідки яких, у силу особливостей каналів керування ОК, скомпенсовані бути не можуть. В обох випадках $\tilde{f}^u(t)$ в САК повинні бути відфільт-

ровані. Визначивши властивості $\tilde{f}^u(t)$, можна підібрати параметри фільтрів низької частоти, які не «пропускають» шуми на вхід регулятора.

Вплив складової $\tilde{f}^c(t)$ на регульовану змінну повністю не компенсується регулятором САР і якраз зменшення цього впливу і визначає ефективність алгоритмів, які реалізує система регулювання.

2.5.2 Аналіз можливостей ідентифікації моделей координатних збурень і вибір загальної структури моделей

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Причому детерміновану $\tilde{f}(t)$ та квазидетерміновану $\tilde{f}^n(t)$ складові доцільно

привести до управляючої дії, а стохастичну складову $\tilde{f}^c(t)$ та шум $\tilde{f}^u(t)$ доцільно привести до регульованої координати.

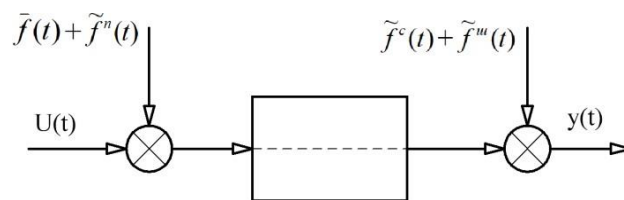


Рис. 2.5 Структурна схема моделі неконтрольованих збурень

На практиці дуже часто прагнуть використовувати найбільш прості моделі детермінованих складових. У таких умовах в якості моделі $\tilde{f}(t)$ приймають модель ступінчастої дії,

$$\tilde{f}(t) = \begin{cases} a_{fn} = \Delta f_n, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}, \text{ прикладеного до входу ОК.}$$

Ступінчасте збурення є одним з найбільш несприятливих з обмежених по величині дій на ОК (з погляду виникаючих у САК динамічних відхилень і тривалості виникаючих перехідних процесів).

Наближена ідентифікація Δf_n для ступінчастого збурення може бути проведена у такий спосіб:

1. Визначають (приблизно) середнє значення управляючої дії $u(t) = \bar{u}(t)$, якому відповідає номінальне значення регульованої координати.

2. Задають значення $\Delta f_n = 0,2u(t)$.

Квазідетермінована складова $\tilde{f}^n(t)$ може мати, наприклад, гармонійний характер, що відбиває вплив на регульовану змінну $y(t)$ періодично працюючого обладнання. Модель $\tilde{f}^n(t)$ знаходять при цьому безпосередньо із графіків $y(t)$, отриманих при проведенні пасивного експерименту.

Для відтворення моделей $\tilde{f}^c(t)$ або $\tilde{f}^u(t)$ досить часто використовують метод формуючого фільтру. Його можна подати у вигляді такої структурної схеми моделювання

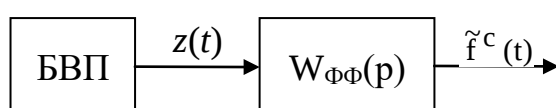


Рис. 2.6 – Базова модель випадкового процесу

де БВП - генератор базового випадкового процесу («білого шуму»);

$W_{\Phi\Phi}(p)$ – передаточна функція формуючого фільтра.

В подальшому для ТП сушки чаю в сушарці як ОК розглядаються лише зовнішні впливи детермінованої $\tilde{f}(t)$ та стохастичної $\tilde{f}^c(t)$ складових неконтрольованого

збурення $f_n(t)$ на регульовану змінну $\varphi_{np}(t)$.

2.6 Планування пасивного експерименту для збору інформації про координатні збурення, структурна і параметрична ідентифікація неконтрольованих збурень

2.6.1 План проведення пасивного експерименту:

- при проведенні пасивного експерименту необхідно вивести об'єкт у зону робочого режиму.
- провести пасивний експеримент, у ході якого отримати реалізації регульованої змінної.
- за отриманими перехідними процесами визначити час початку динамічно сталого процесу, крок квантування, тривалість реалізацій.

Якщо немає можливості провести натурні пасивні експерименти, то з навчальною метою сигнали збурень, як динамічні процеси, можна згенерувати за допомо-

гою програми rgen, задавши необхідні параметри про властивості ОК по каналу регулювання.

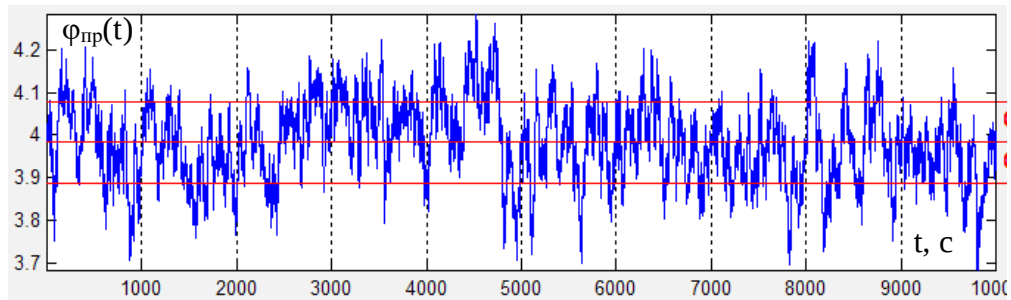


Рис. 2.7 Результати пасивного експерименту змін
регульованої змінної $\varphi_{pr}(t)$ під впливом неконтрольованого збурення $f_n(t)$

2.6.2 Оцінювання імовірнісних характеристик випадкових складових координатних збурень, аналіз оцінок щільностей імовірності, кореляційних функцій, спектральних щільностей і уточнення структури моделі (структурна ідентифікація)

Для ідентифікації моделей випадкових складових неконтрольованих координатних збурень використаємо додаток IdSoft пакету Матлаб. Першим етапом ідентифікації моделі контрольованих і неконтрольованих збурень є оцінювання імовірнісних характеристик відповідних випадкових процесів, а саме щільності імовірності, математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, середньоквадратичного періоду (СКП), кількості СКП у реалізації випадкового процесу, нормованої кореляційної функції і спектральної щільності випадкового процесу.

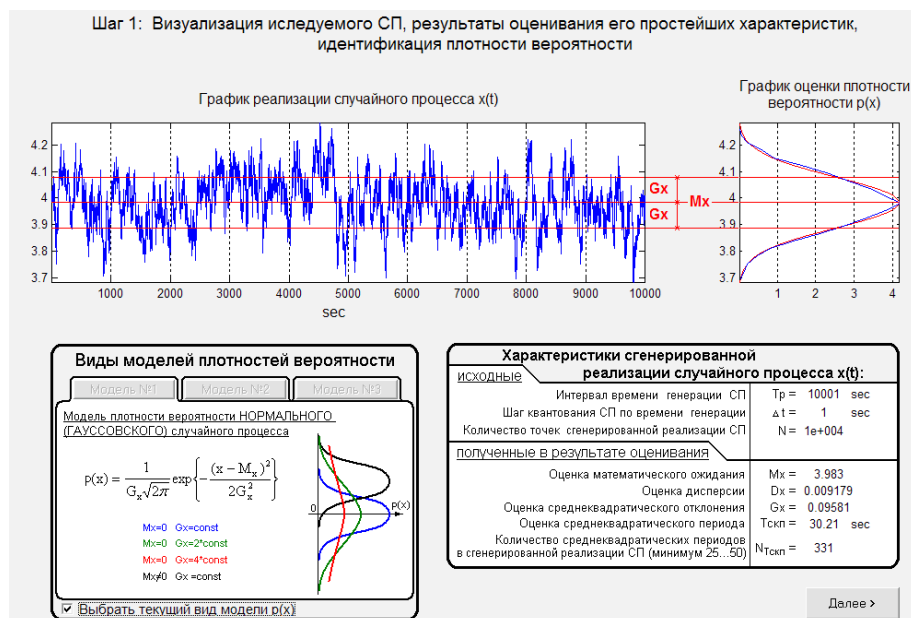


Рис. 2.8 Вибір моделі щільності імовірності розподілу процесу $\varphi_{\text{пр}}(t)$

На другому кроці вибираємо модель №1 із семи можливих моделей автокореляційної функції та спектральної щільності процесу $\varphi_{\text{пр}}(t)$.



Рис. 2.9 Структурна ідентифікація автокореляційної функції та спектральної щільності процесу $\varphi_{\text{пр}}(t)$

2.6.3 Параметрична ідентифікація моделей імовірнісних властивостей випадкових складових, оцінка результатів ідентифікації.

На третьому кроці проводимо параметричну ідентифікацію параметра α автокореляційної функції процесу $T_n(t)$ $R_{T_n}(\tau_k) = D_{T_n} \cdot e^{-\alpha |\tau_k|}$.

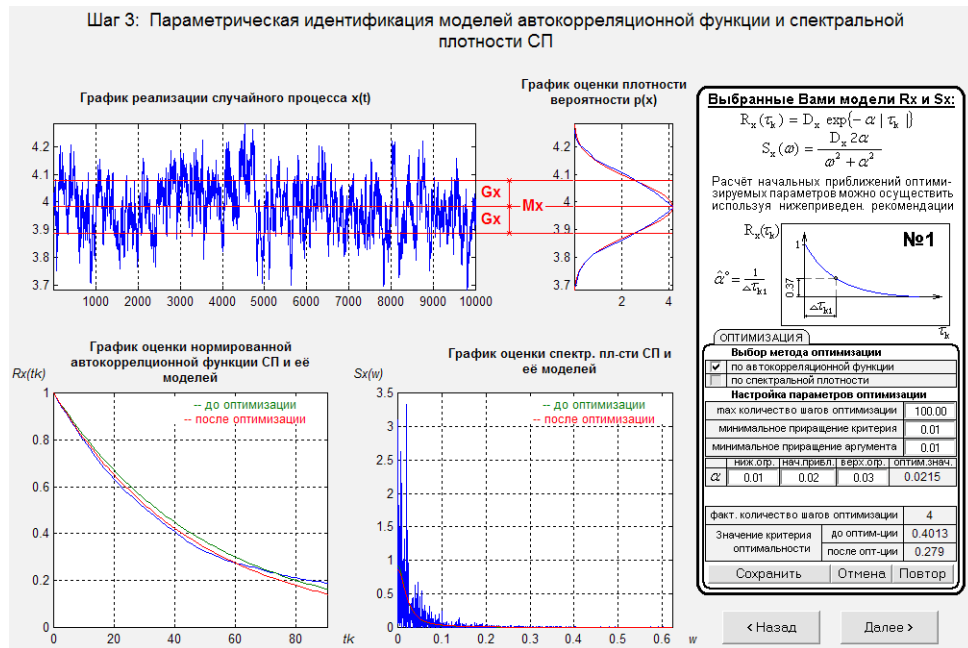


Рис. 2.10 Результати параметричної ідентифікації АКФ процесу $\varphi_{\text{пр}}(t)$

На 4 кроці отримуємо кінцеві результати ідентифікації випадкової складової процесу $T_{\text{п}}(t)$.

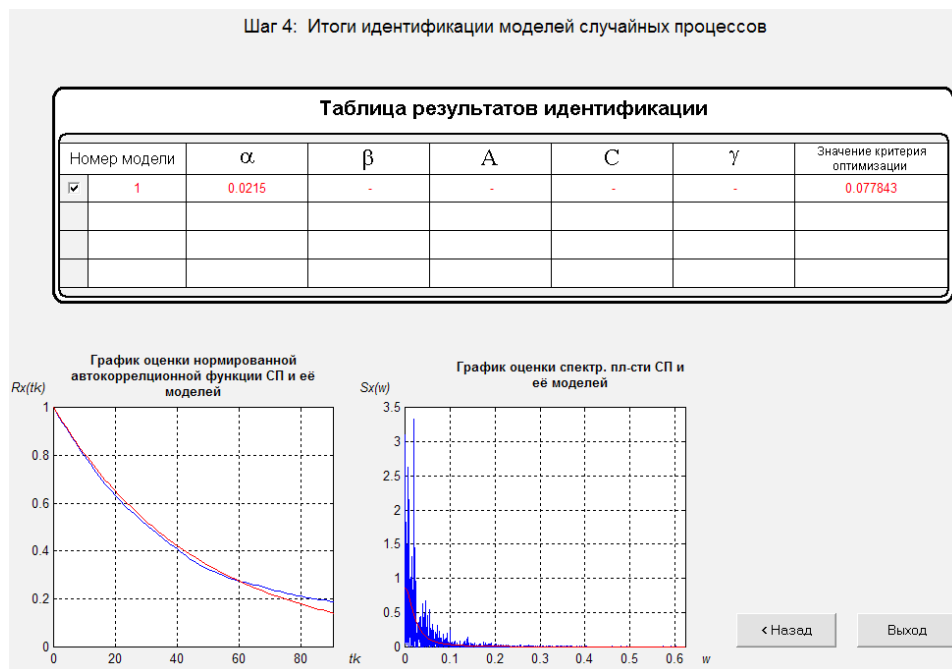


Рис. 2.11 Результати ідентифікації випадкової складової процесу $\varphi_{\text{пр}}(t)$

Ці результати в подальшому дадуть змогу визначити передатну функцію формуючого фільтру $W_f(p)$, який із псевдобілого шуму, що продукує генератор базового випадкового процесу, сформує випадковий процес, імовірності характеристики яко-

го будуть подібні до характеристик процесу $\varphi_{\text{пр}}(t)$.

Для досліджуваного ОК в якості моделі детермінованої складової неконтрольованих збурень прийmemo ступінчасту вхідну дію величиною $10\%x.p.o.$

2.7 Реалізація у середовищі імітаційного моделювання моделей каналів перетворення дій і підтвердження їх відповідності експериментальним даним

2.7.1 Розробка схем моделювання динаміки каналів перетворення дій, отримання перехідних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними перехідними характеристиками

У цьому підрозділі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналу «U- $\varphi_{\text{пр}}$ » ОК розробляються схеми моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку.

При моделюванні вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат з експериментальними даними. Для цього експериментальні дані попередньо готують в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up-Table (див. табл. 4.1). Схеми моделювання каналів управління ОК наведені на рис. 4.1. Результати моделювання наведені на рис. 2.12.

Табл. 2.2 Дані обробки експериментальної перехідної характеристики ОК по каналу U – $\varphi_{\text{пр}}$

t, c	0	30	60	90	120	150	180
$\varphi_{\text{пр}}(t)\%$	5,0	4,985	4,939	4,841	4,698	4,546	4,383
t, c	210	240	270	300	330	360	
$\varphi_{\text{пр}}(t)\%$	4,247	4,138	4,053	4,014	4,002	4,0	

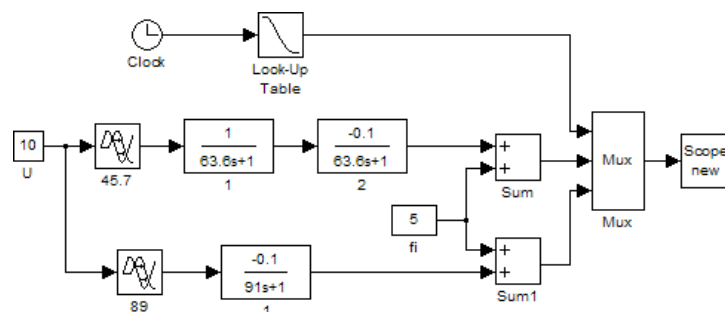


Рис. 2.12 – Схема моделювання каналу «U- $\varphi_{\text{пр}}$ »

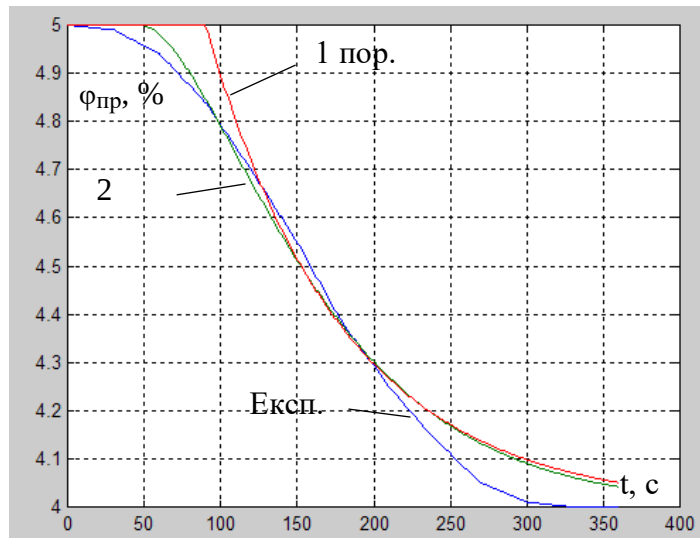


Рис. 2.13 – Результати моделювання ОК по каналу «U- φпр»

Як видно з рис. 2.13, моделі ОК як 1-го, так і 2-го порядків досить точно описують експериментальні дані.

2.7.2 Представлення моделей випадкових складових дій у виді послідовно включених генератора базового випадкового процесу („білого шуму”) і формуючого фільтра

Для відтворення моделі неконтрольованих збурень як стохастичних процесів (СП) із заданими властивостями будемо використовувати метод формуючого фільтру.

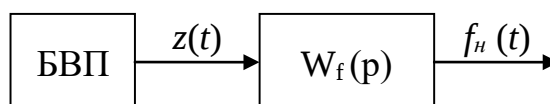


Рис. 2.14 – Структурна схема моделі формування неконтрольованого збурення

Спочатку треба визначити передаточну функцію формуючого фільтра $W_f(p)$. Для моделі кореляційної функції №1 передатна функція формуючого фільтра має вигляд:

$$W_f(p) = \frac{k_f}{T_f p + 1};$$

де:

$$k_f = 2 \cdot \sqrt{\frac{D_T}{\alpha}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,009179}{0,0215}} = 1,3; \quad f = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0,0215} = 46,5 \text{ c};$$

f – дисперсія процесу $\varphi_{пр}(t)$. У підсумку:

$$W(p) = \frac{k_f}{T_f p + 1} = \frac{1,3}{46,5p + 1}. \quad (1)$$

2.7.3 Розробка структурних схем моделювання, генерація випадкових складових моделей вхідних дій, параметрична ідентифікація їх імовірнісних характеристик і підтвердження відповідності моделей експериментальним даним

Для перевірки коректності визначення параметрів передатної функції (1) проведемо моделювання за такою схемою:

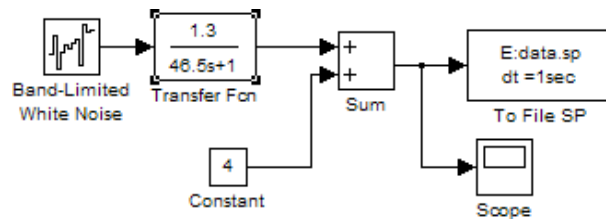


Рис. 2.15 Схема моделювання для перевірки коректності визначення параметрів передатної функції (1)

Далі було проведено оцінювання імовірнісних характеристик випадкових складових координатних збурень. По його результатам виявилось, що похибка в оцінках математичного очікування, середньоквадратичного відхилення і коефіцієнту спаду кореляційної функції моделі відрізняється від аналогічних експериментальних показників більша, ніж на 5%. Тому схема моделювання була скоригована:

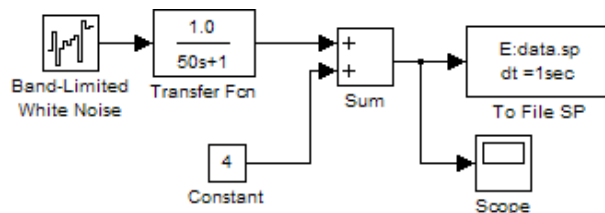


Рис. 2.16 Скоригована схема моделювання для перевірки коректності визначення параметрів передатної функції (1)

Оцінювання імовірнісних характеристик випадкових складових координатних збурень по схемі моделювання, яка представлена на рис. 2.16, дало наступні результати:

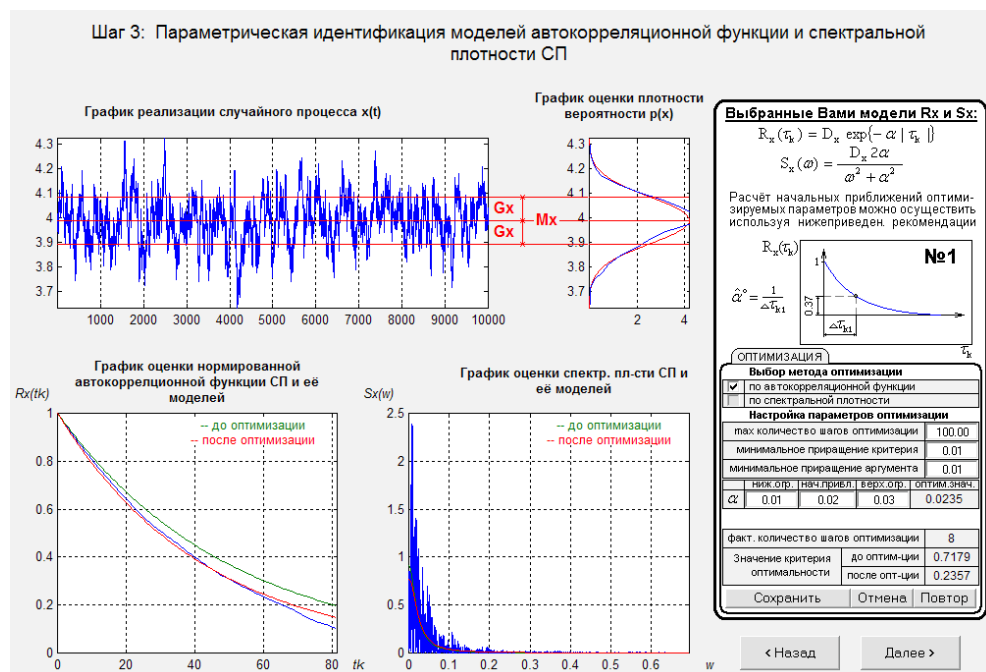
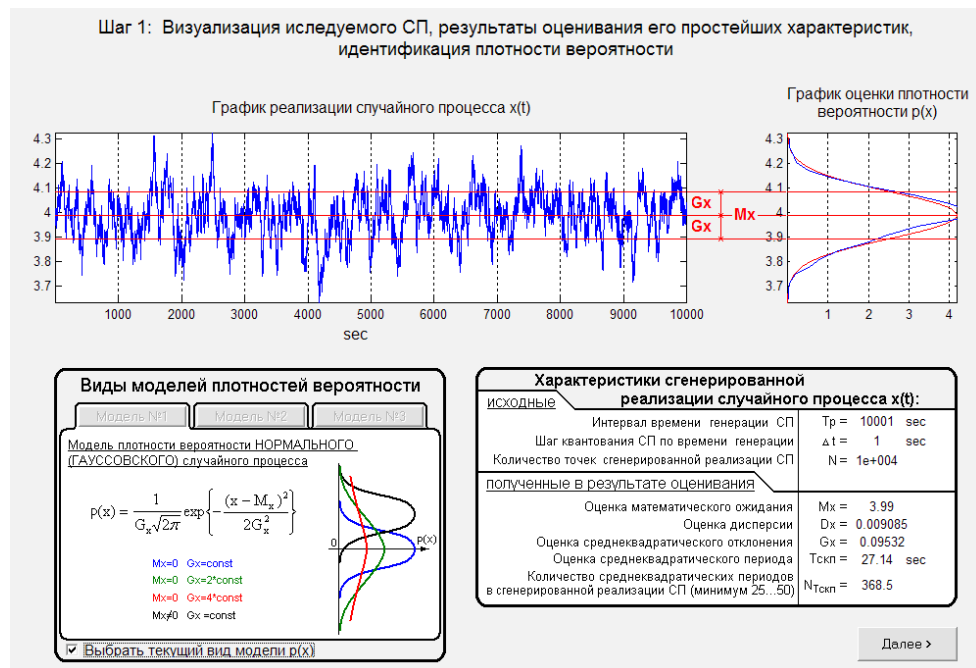


Рис. 2.17 Результаты перевірки передатної функції формуючого фільтру (1)

Порівнюючи отримані результати із аналогічними по п. 3.3, можна дійти висновку, що похибка в оцінках математичного очікування, середньоквадратичного відхилення і коефіцієнту спаду кореляційної функції моделі відрізняється від аналогічних експериментальних показників менше, ніж на 5%.

2.8 Відтворення у середовищі імітаційного моделювання моделей статистики каналів перетворення дій і підтвердження їх відповідності експериментальним даним

Реалізація моделі статички ОК проводилась в пакеті Simulink середовища Матлаб. Схема моделювання наведена на рис. 2.18, в якій модель статички була реалізована в елементі Fcn.. Результати моделювання наведені на рис. 2.19.

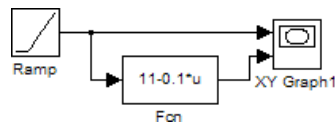


Рис. 2.18 Схема моделювання з перевірки відповідності статичної характеристики ОК експериментальним даним та налаштування елементу Fcn

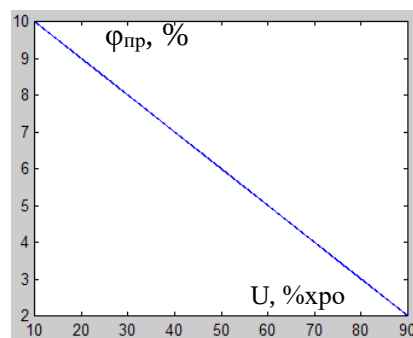


Рис. 2.19 Результати перевірки відповідності статичної характеристики ОК експериментальним даним

Співставляючи результати можна зробити висновок, що модель статички ОК адекватна статичним властивостям ОК.

2.9 Реалізація у середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту керування і підтвердження її адекватності

2.9.1. Повна модель ОК містить у собі повну модель каналу керування і модель вхідних дій. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 2.20. В цій схемі використані ланки Transfer Fcn (with initial outputs), що дозволило встановити необхідні початкові умови в моделях. Експериментальні дані з табл. 4.1 були введені в елемент Look-Up Table

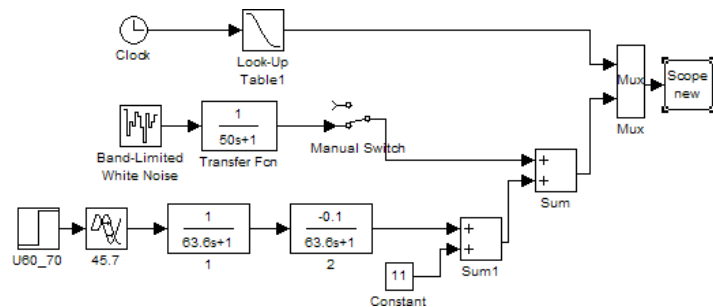
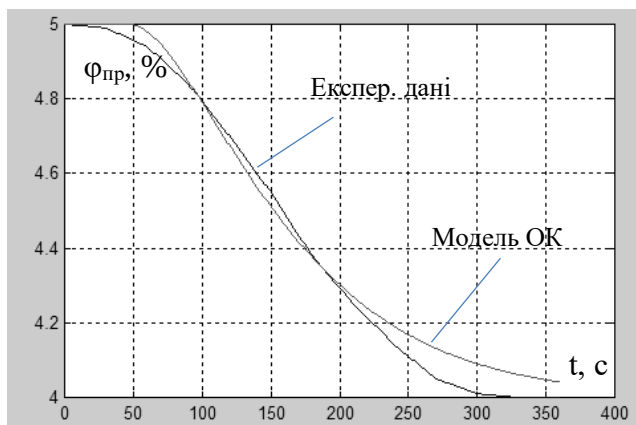


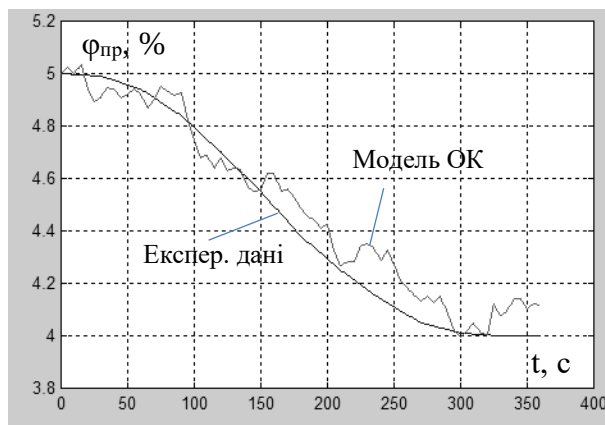
Рис. 2.20– Схема моделювання повної моделі ОК

2.9.2 Проведення з моделлю об'єкта машинних експериментів, аналогічних тим натурним, при яких здійснювався збір інформації про властивості об'єкту, порівняння результатів цих експериментів, прийняття висновку про відповідність моделі експериментальним даним.

Проведемо експерименти з повною моделлю ОК. Результати експерименту при одночасній зміні керуючої дій U детермінованого характеру наведені на рис. 2.21а. Якщо до керуючих дій додаються ще й збурення $f_H(t)$, то загальний результат приведений на рис. 2.21б.



а)



б)

Рис. 2.21 – Результати експерименту при зміні керуючих дій U детермінованого характеру 10%х.р.о. та впливі неконтрольованих збурень $f_H(t)$

Як видно з результатів моделювання, повна модель ОК достатньо точно відображає експериментальні дані з табл. 4.1. Це означає, що отримана повна модель ОК є адекватною.

РОЗДІЛ 3 Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів

3.1 Формулювання задач керування технологічним агрегатом

3.1.1 Декомпозиція загальної задачі керування технологічним агрегатом і формулювання приватних завдань.

Загальним завданням керування є керування матеріальними і енергетичними потоками для отримання властивостей продукту необхідного виду і якості.

Із загальної мети керування можна виділити приватні задачі:

- підтримання вихідних змінних об'єкта керування ($\varphi_{\text{пр}}$) на їх заданих значеннях ($\varphi_{\text{пр}}^z$) - задача регулювання;
- пристосування в процесі роботи об'єкта керування до його змінних властивостей завдання - задача адаптації;
- забезпечення найкращих (оптимальних) в певному (заданому) сенсі режимів роботи об'єкта керування - задача оптимізації;
- забезпечення включення і відключення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - задача логічного керування.

3.1.2 Обґрунтування необхідності і доцільності автоматизації кожної з приватних задач керування.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожну із задач керування.

Для задачі регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної і економічно доцільної реалізації технологічного процесу сушіння чаю в сушарці необхідно регулювати залишкову вологість сухого чаю на виході з сушарки $\varphi_{\text{пр}}$.

Для задачі адаптації необхідна автоматизація пристосування системи керування до змінних властивостей об'єкта керування. Це завдання можна вирішити, змінюючи настройки регуляторів в процесі роботи установки.

Для задачі оптимізації необхідно автоматизувати пошук оптимального проходження процесу, мінімізувати витрати енергії, брак продукції, збільшити продукти-

вність обладнання. Для технологічного процесу сушіння чаю в сушарці цю задачу можна вирішити, змінюючи завдання системі регулювання залишкової вологості сухого чаю на виході з сушарки $\varphi_{\text{пр}}$.

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

3.2 Формалізація вимог до вирішення задач регулювання і вибір принципу побудови системи автоматичного регулювання

3.2.1 Формалізація вимог до гранично-допустимим статичним і динамічним відхиленням регульованих змінних від відповідних заданих значень перехідних і динамічно сталих процесів і подання їх у формі регламентних зон регульованих змінних.

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. Таблицю 1.2):

- залишкова вологість сухого чаю на виході з сушарки $\varphi_{\text{пр}}$ повинна підтримуватися на рівні 4% з точністю ± 1 %. За цим параметром допустимі короточасні відхилення до ± 2 % протягом часу не більше 300 с. Регламентна зона за цим параметром приведена на рис. 3.1.

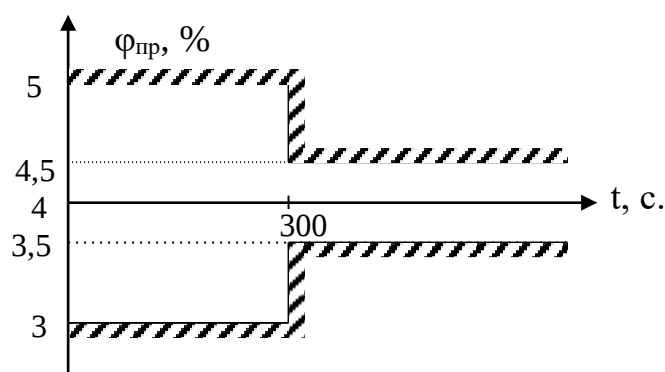


Рис. 3.1 – Регламентна зона для $\varphi_{\text{пр}}$

3.2.2 Формалізація інтегральних вимог до перехідних і динамічно сталих процесів регулювання у формі інтегрального критерію оптимальності САР.

В якості інтегрального критерію застосуємо інтегральний модульний критерій, який дає компромісні налаштування регуляторів: з одного боку забезпечує динамічну точність, з іншого – стійкість САР. Тому ефективність роботи САР і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J = \int_0^T p(t) dt$$

де T – час моделювання;

$\Delta \varphi_{\text{пр}}(t)$ – відхилення залишкової вологості чаю від заданого значення.

3.2.3 Вибір, обґрунтування і представлення у вигляді узагальненої структурної схеми принципу побудови системи автоматичного регулювання.

Основу керування становить інформація про цілі керування або про бажаний стан ОК y^b , про поточний стан ОК y і про збурення f . Залежно від обсягу використаної керуючим пристроєм (КП) інформації про ОК виділяють чотири принципи побудови САР: принцип розімкнутого жорсткого (програмного) керування; принцип розімкнутого керування за збуренням; принцип замкнутого керування за станом ОК або керування зі зворотним зв'язком; комбінований принцип керування.

Для САР процесу сушки чаю в сушарці, крім інформації про бажаний стан ОК, є інформація про поточний стан ОК. Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу достатній для реалізації замкнутого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР базової структури. Структурна схема цього принципу керування приведена на рис. 3.2.

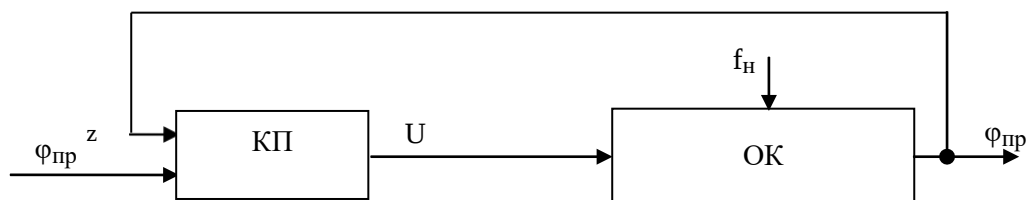


Рис. 3.2 – Структурна схема САР з замкнутим принципом керування

3.3 Конкретизація структури САР і алгоритмів регулювання

3.3.1 Розробка на основі обраного загального принципу побудови САР, її найпростішої конкретної структури.

Структурна схема САР базової структури приведена на рис. 6.1. На рис. $W_P(p)$ – передатна функція регулятора залишкової вологості чаю; $W_{OK}(p)$ – передатна функція ОК; $\varphi_{пр}^z$ – задане значення залишкової вологості чаю; $\Delta\varphi_{пр}$ – помилка регулювання; U – керуюча дія; f_n – неконтрольовані збурення.

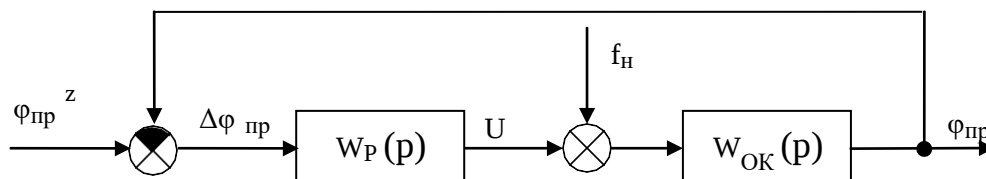


Рис. 3.3 – Структурна схема САР процесу сушки чаю в сушарці базової структури

3.3.2 Вибір кількох альтернативних варіантів типових алгоритмів регулювання, запис їх рівнянь і передаточних функцій.

В інженерній практиці при управлінні технологічними процесами в більшості випадків використовують типові алгоритми регулювання або регулятори. До них відносяться пропорційний (П), пропорційно-інтегральний (ПІ), пропорційно-диференціальний (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання. Якщо канали ОК є статичними, то рекомендується використовувати алгоритми регулювання з І-складової, тобто ПІ і ПІД.

Технологічний процес сушки чаю в сушарці по каналу керування $U - \varphi_{пр}$ має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

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

Передатна функція ПІ-регулятора

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

Рівняння руху ПД-регулятора

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

Передатна функція ПД-регулятора

$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{из} p} + \frac{T_{пп} p}{0,2 \cdot T_{пп} p + 1} \right)$$

3.3.3 Розробка структурної схеми і програми цифрового імітаційного моделювання САР при детермінованих і стохастичних входніх впливах.

В результаті була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних впливів процесу сушіння чаю в сушарці. Результати ідентифікації зведені в таблицю 6.1.

Табл. 3.1 Результати ідентифікації динамічних властивостей ОК

Канал ОК	Передатна функція 1го порядку	Передатна функція 2го порядку
U- φ _{пр}	$W(p) = \frac{-0,1 * e^{-89p}}{91p + 1}$	$W(p) = \frac{-0,1 * e^{-45,7p}}{(63,6p + 1)^2}$

Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором приведена на рис. 3.3, а з ПД-регулятором - на рис. 3.4.

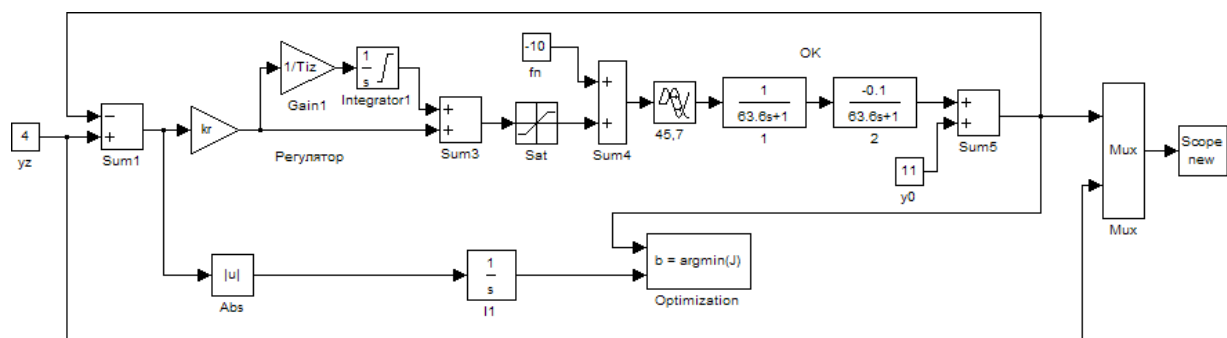


Рис. 3.3 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

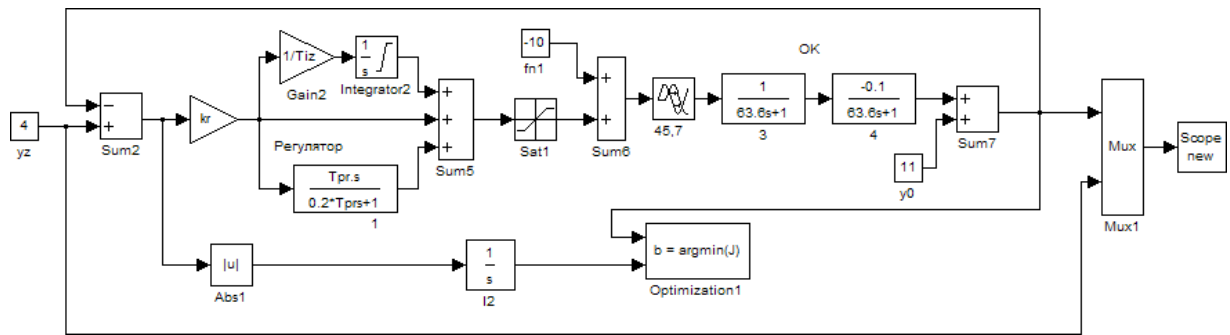


Рис. 3.4 – Структурна схема моделювання САР з ПД-регулятором

3.4 Параметричний синтез САР з різними варіантами типових алгоритмів регулювання та їх порівняльний аналіз для детермінованих вхідних впливів

3.4.1 Вибір початкових наближень параметрів налаштування алгоритмів регулювання на основі інженерних методик параметричного (неоптимального) синтезу САР.

Скористаємося методикою Копеловіча А.П. по розрахунку параметрів налаштування регуляторів. Вибираємо параметри ОК для моделі 1-го порядку та коливальний перехідний процес в САР з $R_n = 20\%$.

Розрахунок параметрів ПІ-регулятора для каналу «U – $\varphi_{пр}$ »:

$$kr = \frac{0,8 \cdot T}{k_o \cdot r_o} = \frac{0,8 \cdot 91}{-0,1 \cdot 89} = -8,2 \frac{\%x_{po}}{\%}$$

$$T_{iz} = 2,5 \cdot r_o = 2,5 \cdot 89 = 222 \text{ c}$$

Розрахунок параметрів ПД-регулятора для каналу «U – $\varphi_{пр}$ »:

$$kr = \frac{1,0 \cdot T}{k_o \cdot r_o} = \frac{1 \cdot 91}{-0,1 \cdot 89} = -10,2 \frac{\%x_{po}}{\%}$$

$$T_{iz} = 2 \cdot r_o = 2 \cdot 89 = 178 \text{ c}$$

$$T_{pr} = 0,5 \cdot r_o = 0,5 \cdot 89 = 44 \text{ c}$$

3.4.2 Параметричний оптимальний синтез САР з альтернативними алгоритмами регулювання для детермінованих (східчастих) вхідних впливів.

Для оптимального параметричного синтезу САР процесу сушіння чаю з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.3. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 3.5.

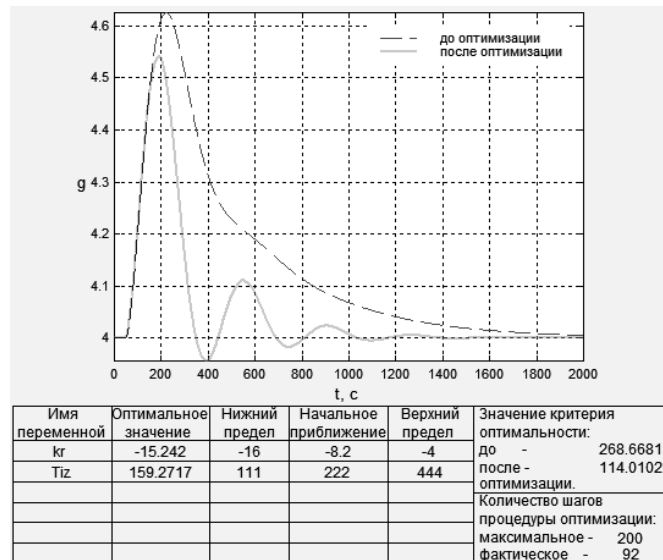


Рис. 3.5 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Для оптимального параметричного синтезу САР процесу сушіння чаю з ПД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.4. Результати оптимізації налаштувань ПД-регулятора наведені на рис. 3.6.

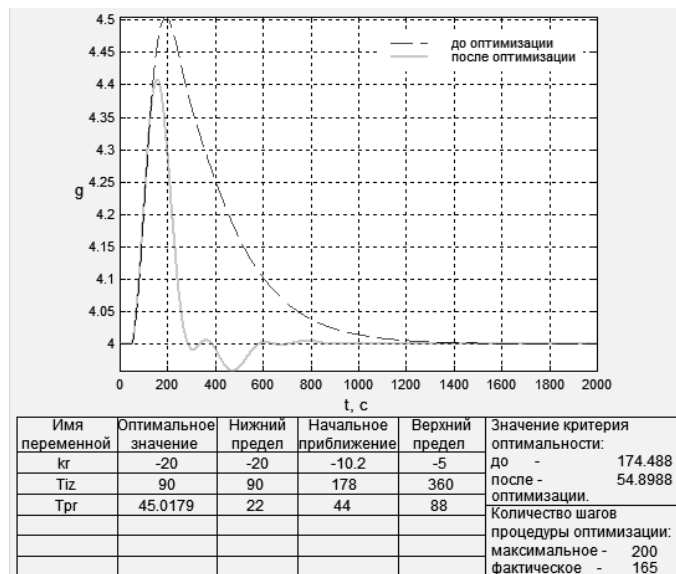


Рис. 3.6 – Результати оптимізації налаштувань ПД-регулятора

3.4.3 Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах за значенням критерію оптимальності і показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- і ПД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.7. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.8 і в таблиці 6.2.

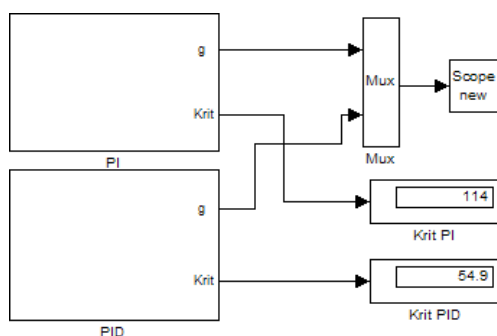


Рис. 3.7 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

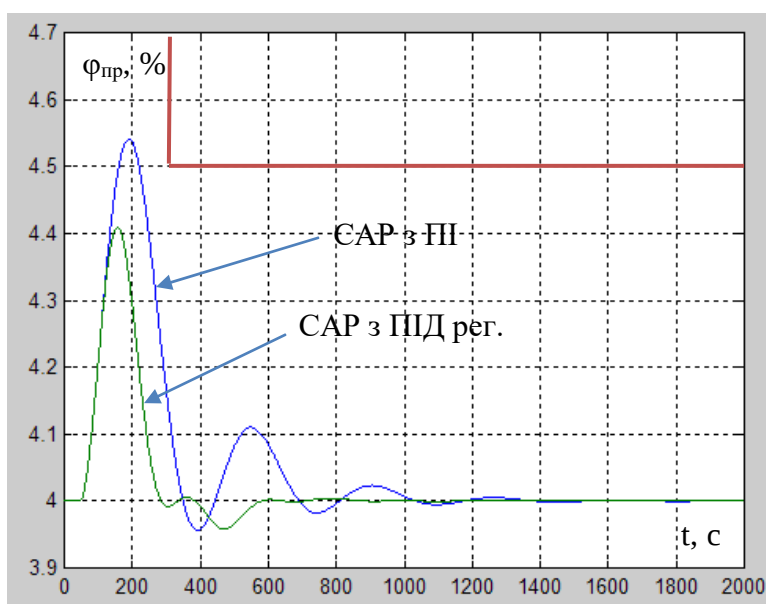


Рис. 3.8 – Результати порівняння варіантів САР по каналу «U – φпр»

Із рис. 3.7 видно, що в умовах дії збурень детермінованого характеру перехідні процеси САР з ПІД-регулятором по прямим і інтегральним показникам краща, ніж САР з ПІ-регулятором.

Таблиця 3.2 - Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Оптимальні параметри регулятора	$\Delta\varphi_{\text{пр}}^{\text{МАКС}}, \%$	$T_{\text{пп}}, \text{с}$	Критерій
ПІ	$kr=-15,24$ $Tiz=159,27$	0,55	0	114
ПІД	$kr=-20$ $Tiz=90$ $Tpr=45$	0,4	0	54

3.5 Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК

3.5.1 Вибір параметрів ОК, по яким доцільно оцінити грубість САР до варіацій їх значень і планування машинного експерименту з оцінки грубості.

В процесі роботи за рахунок зміни параметрів ОК може змінюватися час запізнювання в каналах ОК до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на грубість будемо проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень 10% х.р.о. Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- і ПД-регуляторами на грубість наведені на рис. 3.3, 3.4.

3.5.2 Порівняльний аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.9, а САР з ПД-регулятором - на рис. 3.10. Як видно з результатів, САР і з ПІ-регулятором, і з ПД-регулятором є грубими, оскільки в умовах варіації запізнення в ОК до $\pm 20\%$ перехідні процеси в САР сходяться до заданих значень.

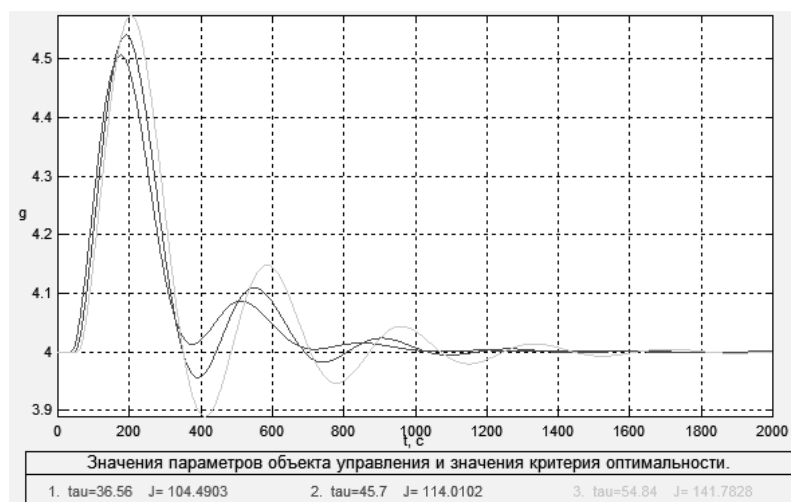


Рис. 3.9 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором

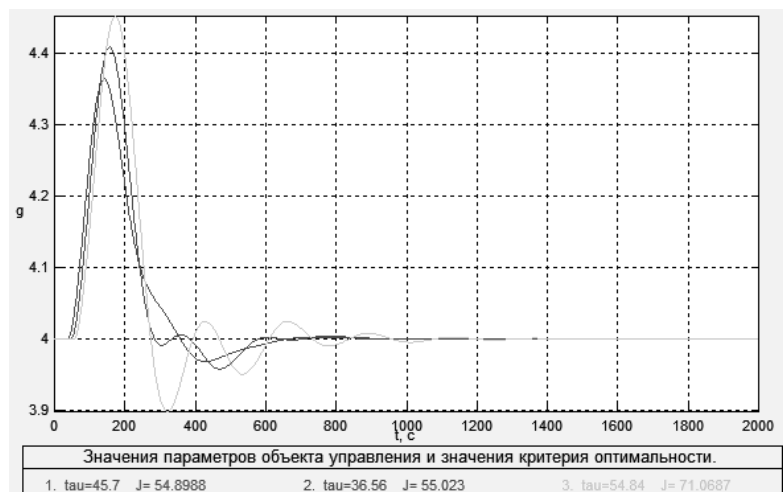


Рис. 3.10 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором

Однак збільшення запізнення ОК погіршує стійкість САР і показник критерію J. Для обох типів регулятора перехідні процеси в САР не виходять за рамки регламентних зон.

3.5.3 Вибір з розглянутих поєднань параметрів ОК найбільш «несприятливих» і «сприятливих» для керування.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, "найгіршим" для керування є більший на 20% час запізнювання ОК, а "найкращим" - найменший.

Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування наведена на рис. 3.11. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.12 і зведено в таблицю 6.3.

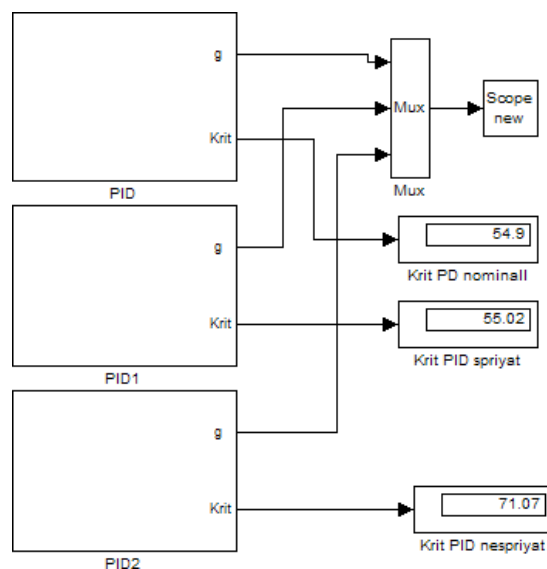


Рис. 3.11 Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР з різними значеннями часу запізнювання ОК

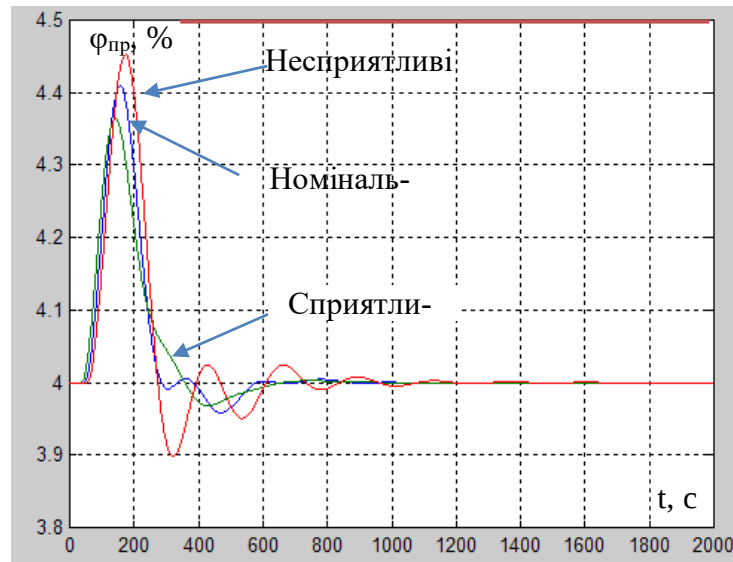


Рис. 3.12 – Результати порівняння варіантів САР по каналу « $u - \varphi_{\text{пр}}$ » з різними значеннями часу запізнення ОК

Табл. 3.3 Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПД-регулятором з різними значеннями часу запізнення ОК

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta\varphi_{\text{пр}}^{\text{МАКС}}$, %	$T_{\text{ш}}$, с	
номінальні	0,4	0	54,9
сприятливі	0,36	0	55,0
несприятливі	0,45	0	71,1

3.6. Аналіз сталих процесів в САР при стохастичних вхідних впливах

3.6.1 Для оцінки якості функціонування САР в сталому режимі необхідно в моделі ОК підключити замість постійної складової випадкову складову неконтрольованого $f_n(t)$ збурення.

Для цього підключим фільтр, що формує $f_n(t)$, і проведемо моделювання САР по каналу « $f_n - \varphi_{\text{пр}}$ » для сприятливих, номінальних і несприятливих параметрах ОК. Схема моделювання САР з ПД-регулятором приведена на рис. 3.14, а результати моделювання - на рис. 3.15.

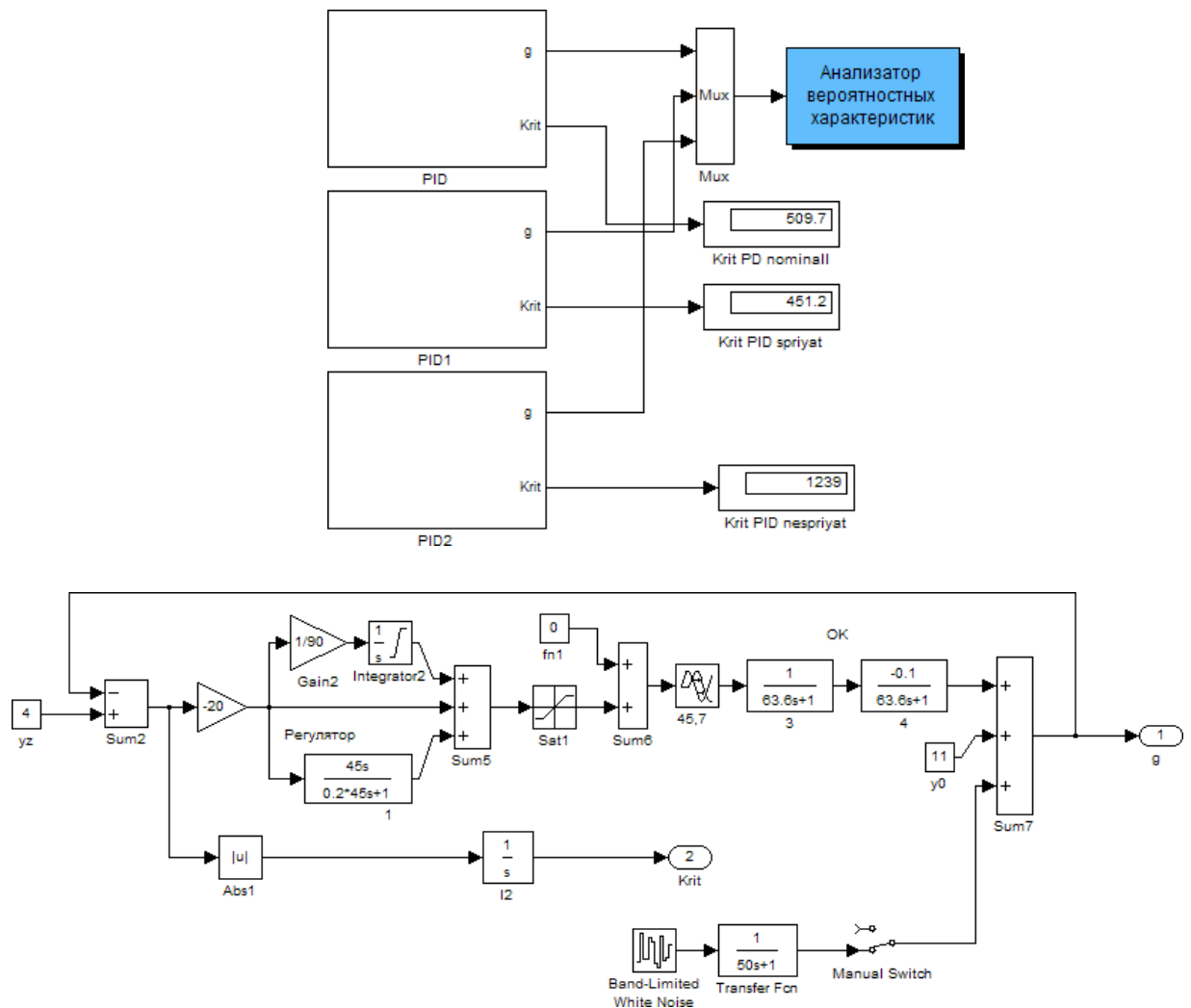


Рис. 3.14 - Схема моделювання САР з ПІД-регулятором
в сталих режимах

Порівнюючи між собою результати моделювання САР (рис. 3.15) при дії зовнішніх збурень випадкового характеру, можна зробити висновок, що середнє значення регульованої змінної в САР відповідає заданому значенню.

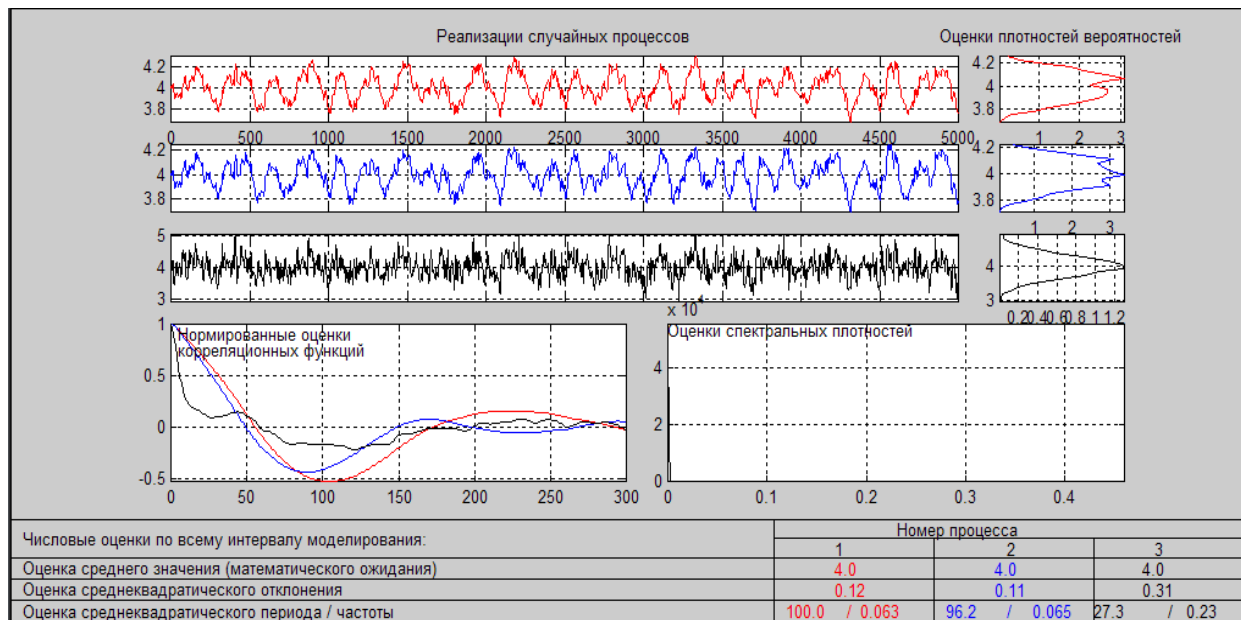


Рис. 3.15 - Результати моделювання САР з ПІД-регулятором по каналу « $f_n - \varphi_{пр}$ » в сталих режимах

3.6.2 Порівняльний аналіз сталих процесів для поєднань параметрів ОК, відповідних сприятливим, номінальним і несприятливим властивостями ОК за інтегральним показником і показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Порівняння результатів моделювання проведемо по математичному очікуванню, середньоквадратичному відхиленню, середньоквадратичному періоду і інтегральному критерію.

Таблиця 3.4 - Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на грубість в сталих процесах за каналом « $f_k - \varphi_{пр}$ »

Показник якості	Значення параметрів ОК		
	сприятливі	номінальні	несприятливі
Математичне очікування	4,0	4,0	4,0
середньоквадратичне відхилення	0,11	0,12	0,31
середньоквадратичний період	96	100	27
інтегральний критерій	451	509	1239

Висновки по розділу

В даному розділі курсової роботи була побудована САР найпростішої структури за принципом замкнутого керування. В процесі розробки САР в якості альтернативних регуляторів використовувались ПІ і ПІД-регуляторами, так як вони забезпечують практичну нульову похибку статизму для ОК із самовирівнюванням.

При порівнянні прямих, інтегральних та статистичних показників якості можемо зробити висновок, що САР з ПД-регулятором дає їх кращі значення.

При перевірці САР на грубість було відмічено, що САР з ПІ- і ПД-регулятором грубі до варіації параметрів ОК. При збільшенні запізнення в ОК показники якості функціонування САР погіршуються.

3.7 Структурний синтез САР підвищеної динамічної точності

3.7.1 Аналіз особливостей об'єкта регулювання, що знижують динамічну точність і вибір способів її підвищення за рахунок введення в структуру САР додаткових зв'язків, що забезпечують, наприклад, її інваріантність, автономність, компенсацію запізнення і т. д.

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

Для технологічного процесу сушки чаю в сушарці характерним є досить значне запізнення в каналі керування ОК. З курсу ТАУ відомо, що для компенсації впливу запізнення на динаміку власного руху системи доцільно застосувати коригуючий зв'язок - упереджувач Сміта. Особливо він ефективний при інтенсивному русі системи по каналу завдання.

3.7.2 Структурна схема САР з компенсацією впливу запізнення на динаміку власного руху системи наведена на рис. 6.1.

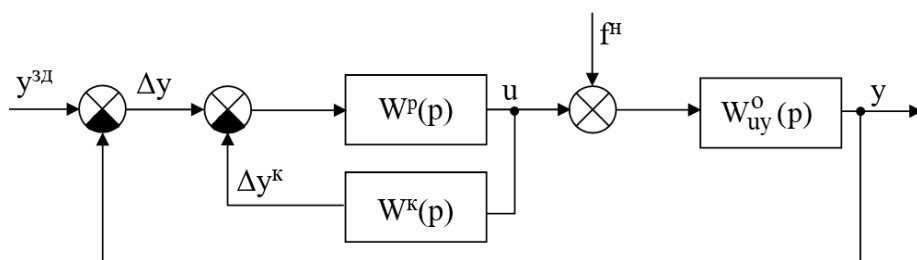


Рис. 3.16 – Структурна схема САР з компенсацією впливу запізнення на динаміку власного руху системи

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

Відомо, що запізнювання не буде впливати на власний рух САР у тому випадку, якщо його передатна функція не входить у власний оператор системи – $Q^c(p)$.

Запишемо передатні функції «звичайної» і розглянутої (з коригувальним зв'язком) САР:

$$W_{f_1 y}^{co}(p) = \frac{W_{uy}^o(p)}{1 + W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)}; \quad W_{f_{ay}}^{ck}(p) = \frac{W_{uy}^o(p)}{1 + \frac{W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)}{1 + W^p(p) \cdot W^k(p)}} =$$

$$= \frac{\frac{W_{uy}^o(p)}{1 + W^p(p) \cdot W^k(p) + W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)}}{1 + W^p(p) \cdot W^k(p)} = \frac{W_{uy}^o(p) \cdot (1 + W^p(p) \cdot W^k(p))}{1 + W^p(p) \cdot W^k(p) + W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)}.$$

Випишемо їхні власні оператори, представивши $W_{uy}^o(p)$ у вигляді добутку двох передатних функцій: передатної функція об'єкта, з якої виключене запізнювання – $W_{uy}^{o'}$ і передатної функції запізнювання $e^{-\tau_{uy}p}$, тобто $W_{uy}^{o'}(p) \cdot e^{-\tau_{uy}p} = W_{uy}^o(p)$.

$$\text{Отже, } Q^{co}(p) = \frac{1 + W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)}{1 + W^p(p) \cdot W_{uy}^{o'}(p) \cdot e^{-\tau_{uy}p}};$$

$$Q^{ck}(p) = \frac{1 + W^p(p) \cdot W^k(p) + W^p(p) \cdot W_{uy}^{o'}(p) e^{-\tau_{uy}p}}{1 + W^p(p) \cdot W^k(p)}.$$

Для забезпечення незалежності власного руху САР від запізнювання об'єкта, необхідно, щоб це запізнювання не входило у власний оператор системи. Для цього потрібно, щоб власний оператор системи з коригувальним зв'язком мав би точно такий же вид, як і власний оператор ідеалізованої системи без коригувального зв'язку й без запізнювання.

$$\text{Тобто } Q^{ck}(p)|_{\tau_{uy}>0} = Q^{co}(p)|_{\tau_{uy}=0}:$$

$$1 + W^p(p) \cdot W^k(p) + W^p(p) \cdot W_{uy}^{o'}(p) \cdot e^{-\tau_{uy}p} = 1 + W^p(p) \cdot W_{uy}^{o'}(p);$$

звідки передатна функція коригувального зв'язку

$$W^k(p) = (1 - e^{-\tau_{uy} p}) W^{o'}(p)$$

Дана функція є фізично реалізуємою і не потребує спрощення для своєї подальшої реалізації в керуючому пристрої.

Представимо передатну функцію з'єднанням типових ланок. Схема моделювання коригуючого зв'язку (упереджувача Сміта) для моделі ОК 2-го порядку наведена на рис. 3.17.

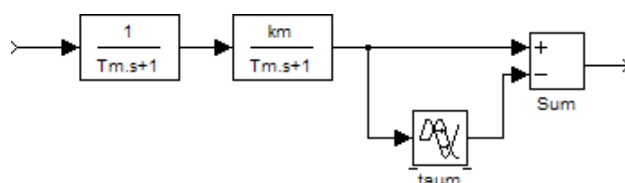


Рис. 3.17 Структурна схема моделювання коригуючого зв'язку

3.8. Розробка структурної схеми і програми цифрового імітаційного моделювання та параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності для детермінованих (східчастих) вхідних впливів.

Схема моделювання САР ПДТ для оптимального параметричного синтезу приведена на рис. 3.18., а результати оптимізації - на рис. 3.19.

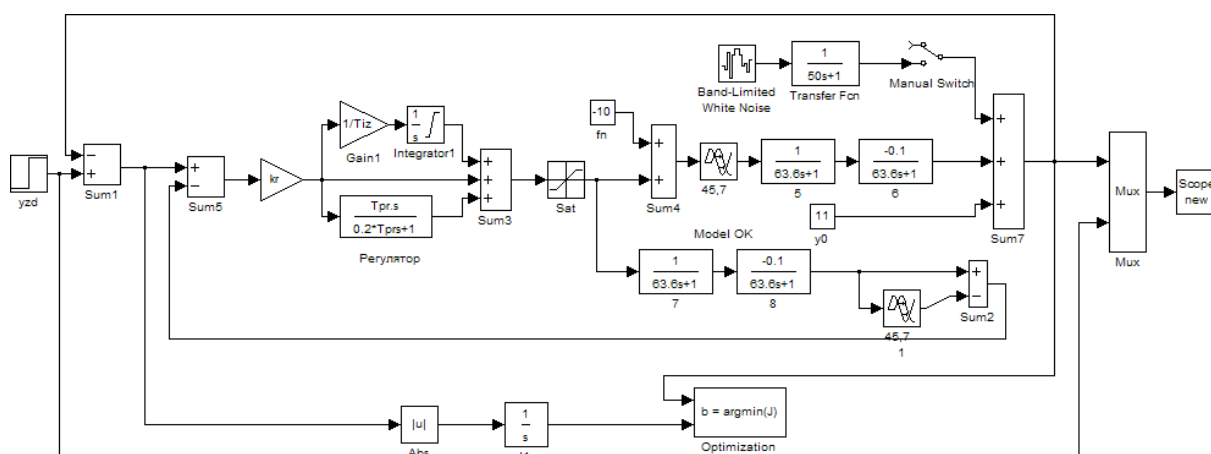


Рис. 3.18. – Схема моделювання САР ПДТ для оптимального параметричного синтезу

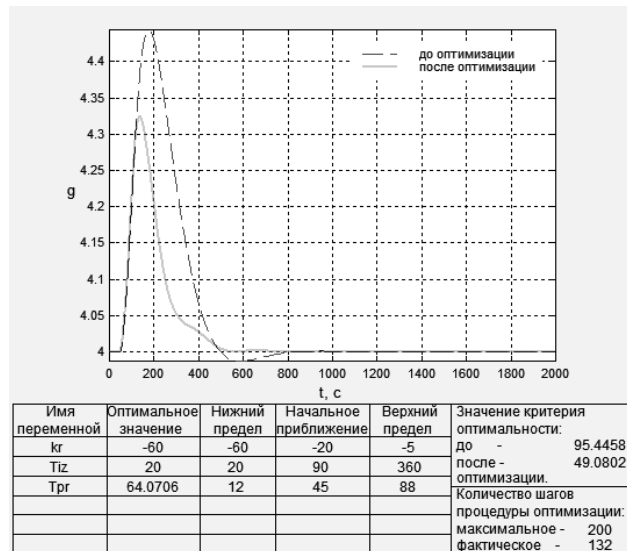


Рис. 3.19. - Результати оптимізації параметрів САР ПДТ

3.9. Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів об'єкта регулювання

3.9.1 Вибір параметрів ОК, по який доцільно оцінити грубість САР значень їх варіацій і планування машинного експерименту з оцінки грубості.

Як і у випадку з САР базової структури, САР підвищеної динамічної точності досліджуємо на грубість в умовах варіації параметрів ОК, а саме, часу запізнювання в каналі керування $OK \pm 20\%$.

3.9.2 Порівняльний аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведені на рис. 3.20. Як видно з результатів оцінки САР ПДТ на грубість, в умовах варіації параметрів ОК перехідні процеси сходяться до заданих значень, а значить, система є грубою.

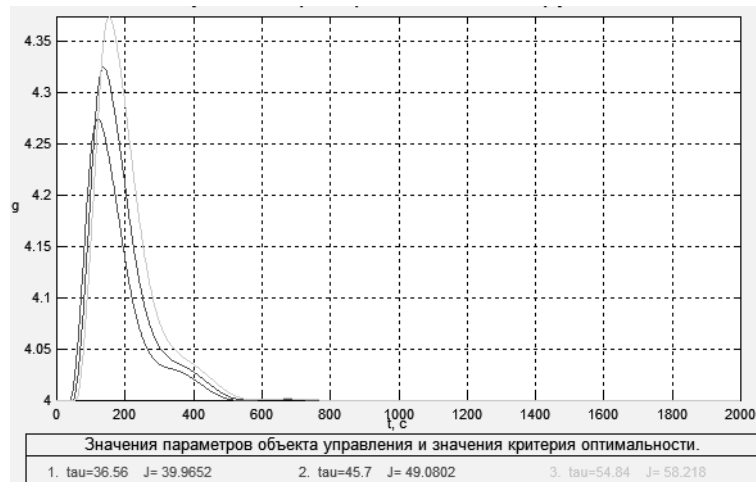


Рис. 3.20 – Аналіз САР ПДТ на грубість в умовах варіації параметрів ОК

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, "найгіршим" для керування є більший на 20% час запізнювання ОК, а "найкращим" - найменший.

Схема моделювання САР ПДТ для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування наведена на рис. 3.21. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.22 і зведено в таблицю 3.5.

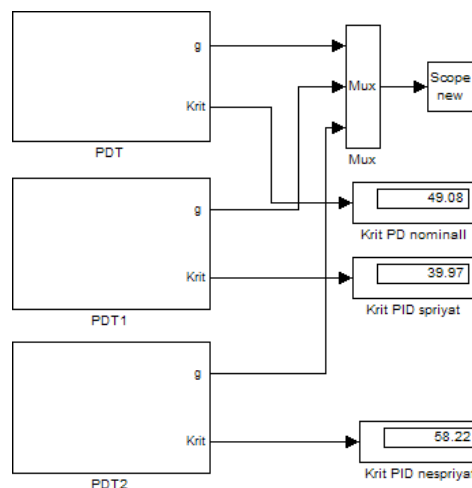


Рис. 3.21 Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР ПДТ з різними значеннями часу запізнення ОК

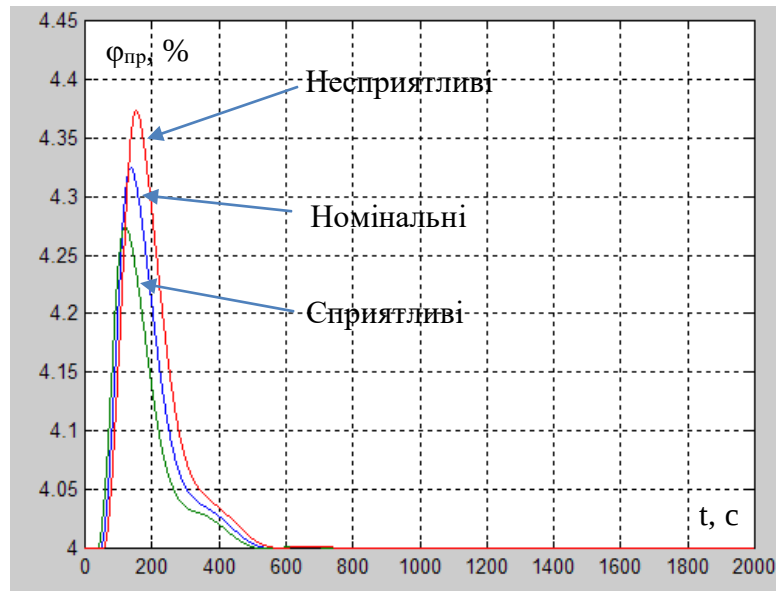


Рис. 3.22 – Результати порівняння варіантів САР ПДТ з різними значеннями часу запізнення ОК

Табл. 3.5 Результати порівняння варіантів САР ПДТ з різними значеннями часу запізнення ОК

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості $\Delta\varphi_{\text{пр}}^{\text{МАКС}}, \%$	$T_{\text{шт}}, \text{с}$	Критерій
номінальні	0,32	0	49
сприятливі	0,27	0	40
несприятливі	0,37	0	58

3.10. Аналіз сталих процесів в САР при стохастичних вхідних впливах

Підключим формуючий фільтр $f_n(t)$ і проведемо моделювання САР ПДТ для сприятливих, номінальних і несприятливих параметрах ОК. Схема моделювання САР ПДТ приведена на рис. 3.23, а результати моделювання - на рис. 3.24 і в табл. 3.6.

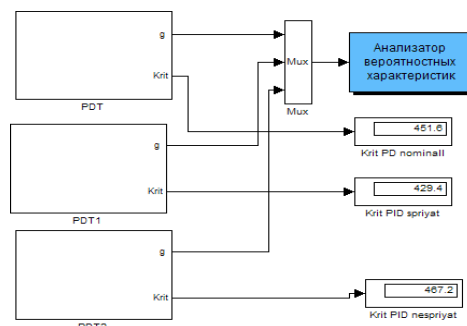


Рис. 3.23. - Схема моделювання САР ПДТ в сталих режимах

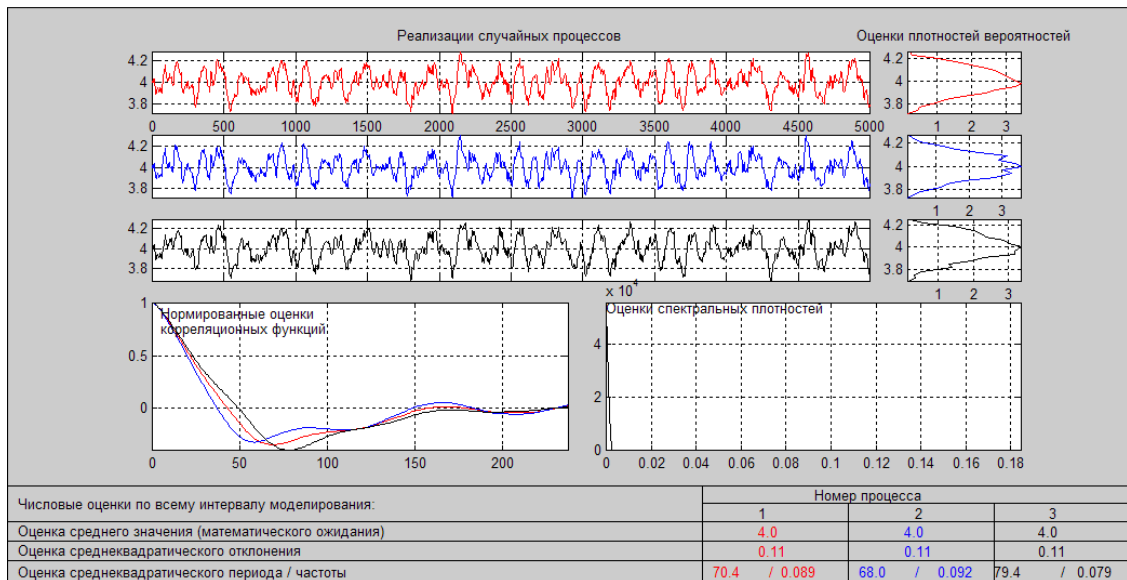


Рис. 3.24. - Результаты моделирования САР ПДТ в стабильных режимах

Таблица 3.6. - Результаты оцінки САР підвищеної динамічної точності в ста-
ліх режимах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	сприятливі	номінальні	несприятливі
математичне очікування	4	4	4
середньоквадратичне відхилення	0,11	0,11	0,11
середньоквадратичний період	68	70	79
інтегральний критерій	429	451	467

3.11 Порівняльний аналіз САР базової структури і підвищеної динамічної точності

3.11.1 Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних САР по величинам критеріїв і показників, на які встановлено гранично-допустимі значення.

Для порівняння якості роботи САР базової структури і підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведена на рис. 3.25. Результати порівняння наведені на рис. 3.26 і в таблиці 3.3.

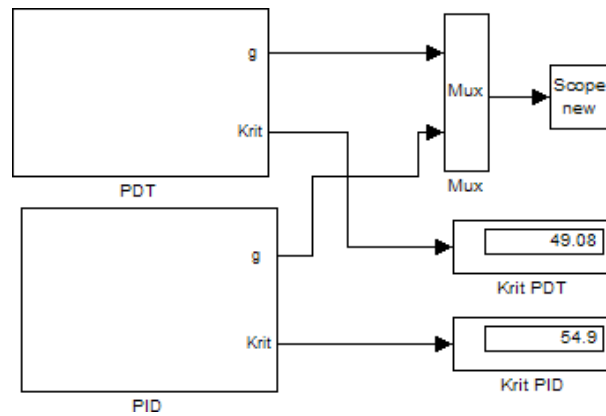


Рис. 3.25 - Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

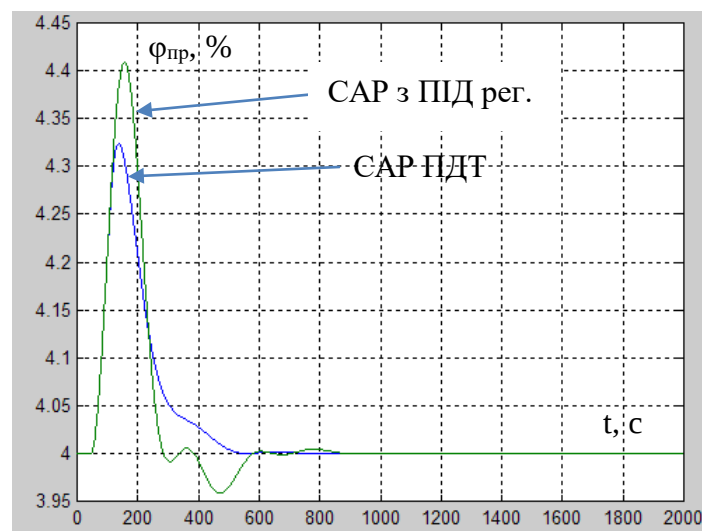


Рис. 3.26 – Перехідні процеси в САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Таблиця 3.7 - Результати порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

Структура САР	Показники		
	$\Delta\varphi_{\Pi}^{\text{МАКС}}, \%$	$T_{\text{пп}}, \text{с}$	Критерій
Базова	0,4	0	55
Підвищеної динамічної точності	0,32	0	49

3.11.2 Порівняльний аналіз сталих процесів в параметрично оптимальних САР

Для порівняння якості роботи САР базової структури і підвищеної динамічної точності в сталих режимах поєднаємо в одній таблиці дані, які стосуються варіанту впливу неконтрольованих збурень на регульовану змінну з табл. 6.3 та табл. 7.1

Таблиця 3.4 - Результати порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності в сталих режимах для каналу « $f_k - P_{gd}$ »

Показник якості	Структура САР	
	Базова	Підвищеної динамічної точності
математичне очікування	4	4
середньоквадратичне відхилення	0,12	0,11
середньоквадратичний період	100	70
інтегральний критерій	509	451

3.11.3 Порівняльний аналіз грубості параметрично оптимальних САР

Як показують результати досліджень САР базової структури та САР ПДТ є грубими до варіацій параметрів ОК.

Висновки по розділу:

За рахунок створення додаткового каналу впливу на систему керування вдалося частково компенсувати вплив запізнення на динаміку власного руху системи.

Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування сушкою чаю та пакування дой-паків.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

Технологічний процес - це послідовність дій, які необхідно виконати для виробництва продукції. Технологічний процес може бути складним і включати в себе багато різних операцій. Тому, перед початком виробництва, потрібно провести технологічний пуск.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПУСК

Технологічний пуск - це послідовність дій, які необхідно виконати для запуску виробництва. Основні процедури технологічного пуску включають:

- Перевірка обладнання: перевірка обладнання на наявність пошкоджень або несправностей.
- Підготовка сировини: перевірка якості сировини та її підготовка до подальшої обробки.
- Налаштування обладнання: налаштування обладнання на правильний режим роботи.
- Тестування: випробування обладнання на працездатність та перевірка якості виробленої продукції.

ТЕХНОЛОГІЧНА ЗУПИНКА

Технологічна зупинка - це зупинка виробництва для технічного обслуговування, налаштування або ремонту обладнання. Основні процедури технологічної зупинки включають:

- Перевірка обладнання: перевірка обладнання на наявність пошкоджень або несправностей.
- Зупинка обладнання: зупинка обладнання та відключення його від електромережі.
- Проведення ремонту: проведення ремонтних робіт або заміна пошкоджених деталей.
- Налаштування обладнання: налаштування обладнання на правильний режим роботи

АВАРІЙНА ЗУПИНКА

Аварійна зупинка - це негайна зупинка виробництва у випадку аварійної ситуації. Її основна мета полягає в негайному припиненні руху або роботи всіх механізмів та обладнання в разі виникнення небезпечних ситуацій, щоб запобігти травмам людей, пошкодженню обладнання або надмірному втрати матеріалів.

Її процедура передбачає:

- Негайне вимкнення обладнання та відключення його від мережі живлення.
- Відключення комунікаційних ліній та засобів контролю.
- Звернення до інженерів з питань ремонту та забезпечення безпеки на робочому місці.

Важливо, щоб аварійна зупинка була надійною і ефективною. Оператори та працівники повинні бути навчені користуватися аварійними зупинками і бути свідомими про їх місце розташування.

На рис. 4,1 наведено блок-схему регламенту функціонування в режимі пуску та зупинки, а на рис. 4,2 – блок-схему регламенту функціонування в режимі аварійної зупинки.

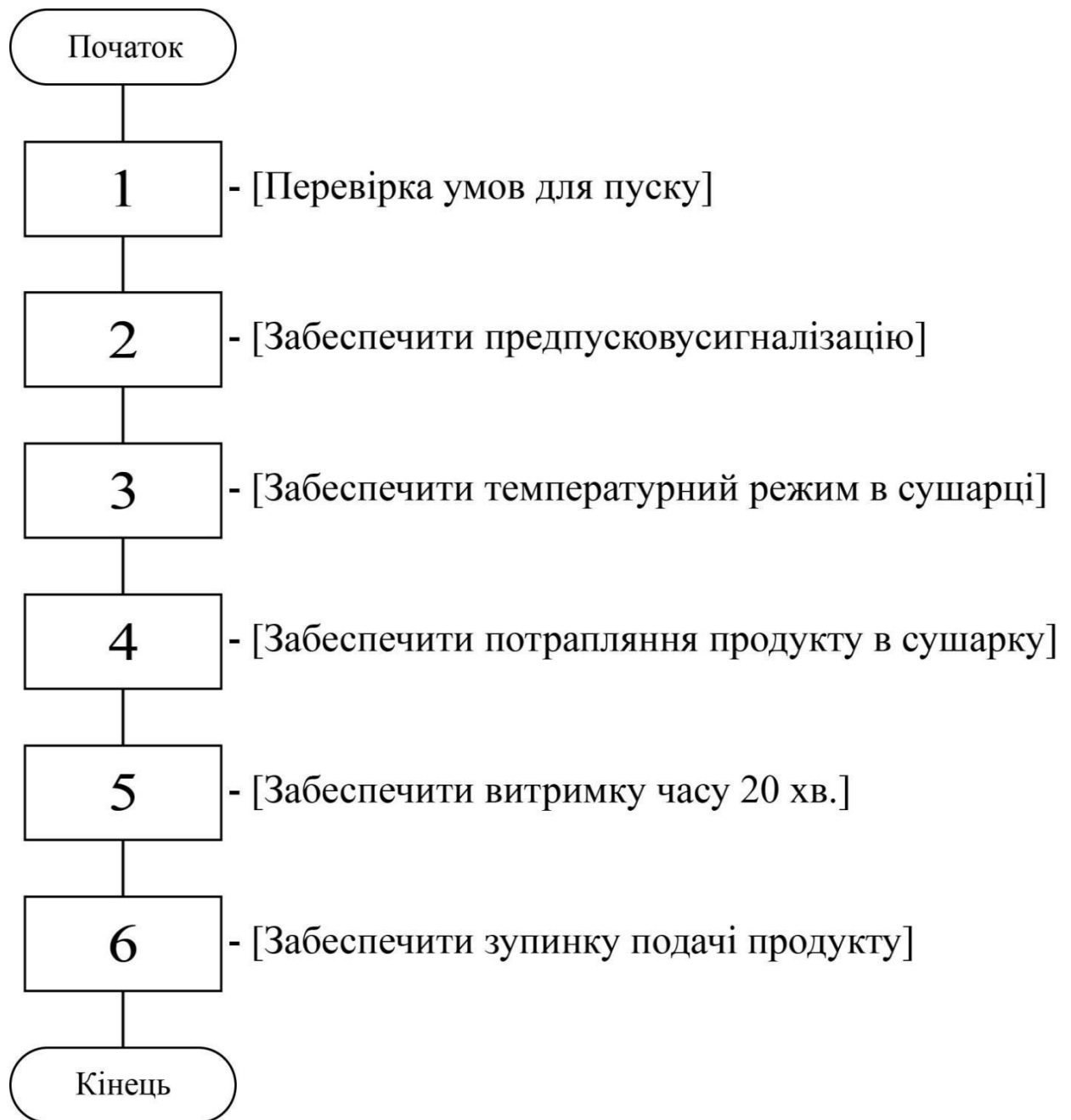


Рис. 4.1 – Блок-схема регламенту функціонування процесу сушіння чаю при його пуску



Рис. 4.2 – Блок-схема регламенту функціонування за аварійною зупинкою процесу сушіння чаю

Розроблені алгоритми керування наведено на рис. 4, та 5 у вигляді блок-схем алгоритмів керування пуском, зупинкою та аварійною зупинкою процесом, що розроблені згідно до регламенту функціонування.

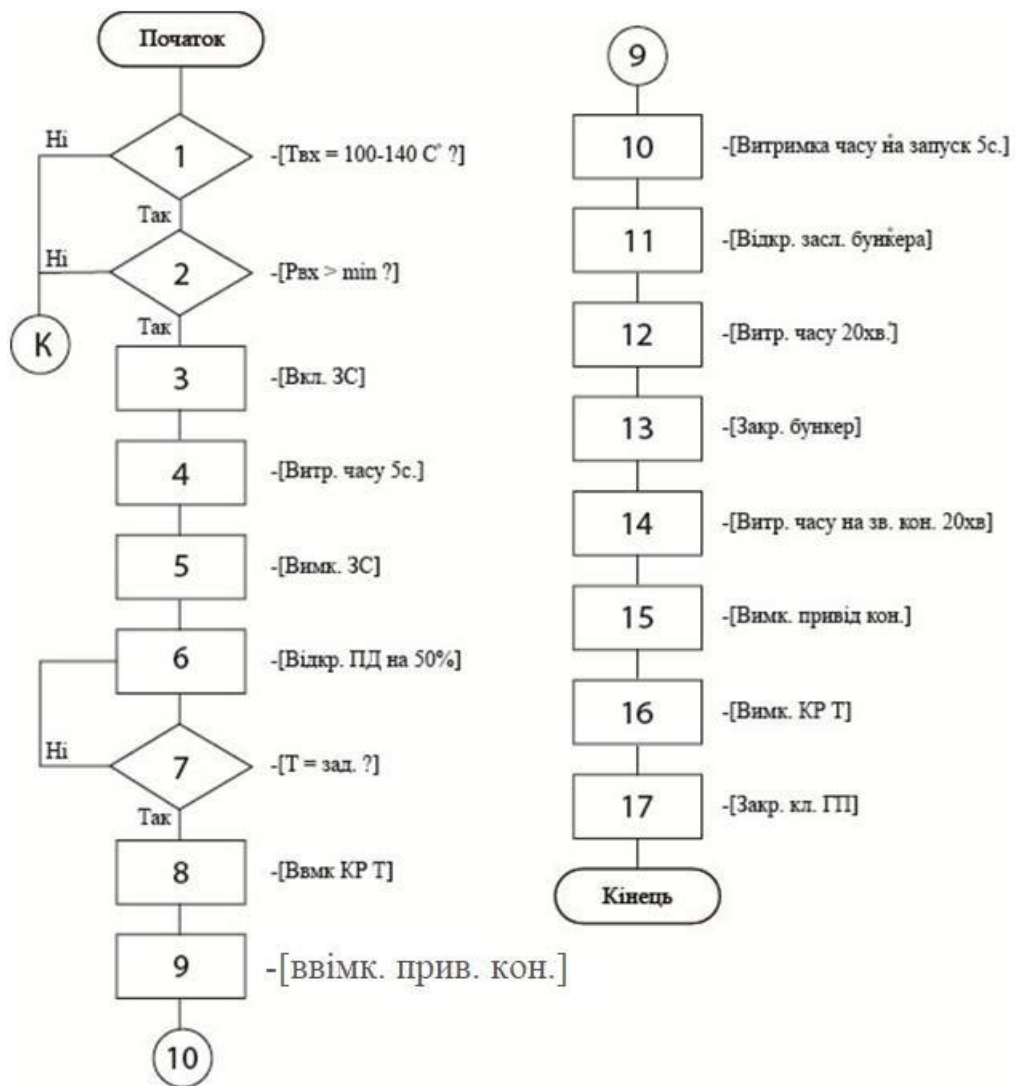


Рис. 4.3 – Блок-схема алгоритму пуску та зупинки технологічного процесу сушіння

На основі наведеного опису роботи процесу сушки чаю формалізуємо у вигляді блок-схеми регламент функціонування установок у режимі зупинки в нештатних ситуаціях, та складемо відповідний алгоритм керування.



Рис. 4.4 – Блок-схема алгоритму аварійної зупинки технологічного процесу сушки чаю

Вступ

На сьогоднішній день промислові роботи широко використовуються для обслуговування технологічних процесів та автоматизації транспортних робіт. Впровадження промислових роботів в сучасному виробництві дозволяє здійснити повну комплексну автоматизацію, значно спростити процес виробництва, підвищити ефективність використання трудових ресурсів, забезпечити якість виконуваних робіт та зменшити фінансові затрати на оплату праці. **Промисловий робот** – автономний пристрій, що складається з механічного маніпулятора і програмованої системи управління, який застосовується для переміщення об'єктів у просторі в різних виробничих процесах. Промислові роботи є важливими компонентами автоматизованих гнучких виробничих систем, що дозволяють збільшити продуктивність праці.

Четверта промислова революція та розвиток пакувальної індустрії

В останні роки сформовано загальні тенденції розвитку технологій і техніки, якими передбачено перебудову всіх сфер людської діяльності, у тому числі і пакувальної індустрії. Ці тенденції отримали назву – четверта промислова революція. Після

винаходу машин одним із постійних напрямків людської діяльності стало розроблення машиноавтоматів, а в подальшому – і робототехнічних комплексів. Стрімкий розвиток нанотехнологій, що супроводжуються мініатюризацією приводів, датчиків, робочих органів, дав можливість отримати новий тип технічних засобів пакування продукції.

Сьогодення розвитку логічного проектування пакувального обладнання характеризується критичним відставанням від елементного через його неспроможність розробляти нові зразки пакувального обладнання з функціями швидкого переналагоджування на програмному рівні для реалізації гнучкості виробництва і потребує переходу на нову концепцію проектування. Швидкість, з якою відбуваються такі зміни, їх розмах і системний характер наслідків – це три рушійні сили, які стали початком четвертої промислової революції.

Метою четвертої промислової революції, яку ще називають «цифровою», є усунення меж між фізичною, цифровою та біологічною сферами розвитку людства. В основі такого розвитку буде покладено використання останніх досягнень в області штучного інтелекту і робототехніки..

Тобто головним трендом впровадження «Індустрії 4.0» є розвиток технологічних платформ, які об'єднують попит і пропозицію. Провідні світові експерти стверджують, що в основі розвитку «Індустрії 4.0» є комплексне поєднання наукових досягнень дев'яти напрямків, розповім про деякі з них

Третій напрямок базується на використанні новітніх систем моделювання технологічних процесів (Simulation), які будуть активно застосовуватись одночасно з процесом виробництва. Передбачається, що такі системи будуть спроможні моделювати процеси переналагодження, тестування та моніторингу пакувальних комплексів або окремого пакувального обладнання. Тобто виробництво, що працює у фізичному світі, буде мати ідентичну віртуальну модель. Віртуальна модель виробництва та реальне виробництво будуть тісно пов'язані завдяки паралельному надходженню інформації в реальному часі та будуть повністю відповідати одне одному. Завдяки цьому, наприклад, у разі потреби внести будь-які зміни у виробництво, такі зміни можна буде попередньо промоделювати та оптимізувати на віртуальній моделі, а лише потім перенести в реальний світ виробництва. Такий підхід дасть можливість значно економити час, кошти та підвищити якість інноваційних рішень, адже «у віртуальному світі» наслідком невдалих технічних рішень будуть нематеріальні втрати.

Роботи у харчовій індустрії

У сучасному індустріальному світі використання промислової робототехніки дозволяє ефективно розвиватися за умов жорсткої конкуренції. За допомогою новітніх технологій компанії будь-якого масштабу набувають високоефективного та гнучкого виробництва, підвищують його надійність та універсальність.

Індустрія продуктів харчування постійно змінюється, тому не дивно, що роботи інтенсивно використовуються у цій галузі. Сучасні промислові роботи швидко, легко та з мінімальними витратами автоматизують вторинні процеси обробки харчових продуктів, такі як контроль якості, маркування, пакування та укладання на піддони. Їх легко програмувати, це може зробити робітник без великого інженерного досвіду, а головне роботи можуть окупити себе менш ніж за рік.

Упаковка продукції

Упаковка готової продукції в тару (коробки, ящики та ін.) є однією з найпоширеніших сфер для застосування промислових роботів.

Завдяки точності позиціонування та швидкості роботи, робот-пакувальник може замінити кілька людей та працювати 24 години на добу. Пакувальний робот взаємодіє з контролером автоматизованої виробничої лінії і системою сенсорів для виявлення продукції, що надходить, потім робить захоплення необхідної кількості одиниць продукту і укладання їх в тару. Створено безліч моделей роботів та захватних пристроїв, призначених для пакування різних видів продукції. Наприклад, спеціально сконструйовані дельта-роботи можуть виробляти переміщення і упаковку продукції на дуже високій швидкості прямо на конвеєрах, що рухаються, а спеціальні роботи для харчової промисловості можуть виробляти упаковку продуктів харчування, завдяки спеціальному покриттю і герметичності корпусу.



Рис.4.5(Пакування продукції)

Переваги роботів у порівнянні зі стандартними пакувальними машинами:

- Пакувальний робот займає менше місця в порівнянні з машинами, що мають аналогічну функціональність.
- Він може бути розміщений на стіні або стелі.
- Пакувальний робот може обслуговувати відразу кілька виробничих ліній за умови, що його швидкість роботи відповідає продуктивності ліній.
- Робот може одночасно працювати з кількома типами продукції, робити упаковку за складним шаблоном з чергуванням шарів, форм, зміною орієнтації.



Рис.4.6 (Промисловий робот для пакування)

4.1 Розділ

Ознайомлення з ключовою ділянкою та її тех.завданням, постановка задачі”.

Розробка РТК для пакування дой-паків.

Опис ділянки: є ділянка на якій розташована конвеєрна лінія FlexLink, по ній подається готова продукція – дой-паки з чаєм, 4 працівника, які упаковують їх в коробки. Проблема полягає в тому, що виконання повторюваних дій і робота на конвеєрі, швидко викликають стомлення та стрес у співробітників. Тому на цих ділянках виробництва проблеми з якістю виконання операцій та висока плинність кадрів.

Ціль РТК: розробити РТК пакування дой-паків, що зможе вплинути на цю проблему, а саме, замінити працівників операторів та прискорити процес роботи.

Опис робототехнічного комплексу для пакування дой-паків у коробки:

Комплекс починає роботу з подачі готових дой-паків на конвеєрну лінію Дой-паки можуть бути поставлені у спеціальному стані і подаються автоматично на початок лінії. Роботизована система буде використовувати оптичний датчик наявності 5В NPN NO на обох лініях, для розпізнавання дой-паків та коробок. Датчики підключаються к контролеру робота. Заготівка на конвеєрі рухається і зупиняється, коли спрацьовує датчик, після чого подається сигнал в контролер робота, він опускається, бере заготівку і переміщає в коробку, в цей час підходить наступна і процес повторюється.



Рис.4.7 (оптичний датчик 5В NPN NO)

Таким чином за допомогою робота-маніпулятора, дой-паки автоматично беруться з конвеєра та розміщуються у відведені місця в коробці. Робот забезпечує точне позиціонування та швидке розміщення дой-паків.

Для того, щоб розмістити один дой-пак, роботу знадобиться 5 с. часу.

Дой-пак важить 500 гр. та має такі розміри:

- Ширина 10 см.
- Висота 15 см.

Контроль процесу: програмне забезпечення відповідає за контроль процесу упаковки. Воно стежить за поточним станом робота, розташуванням дой-паків, виконанням заданих критеріїв та інших параметрів. Якщо виникає якась проблема, наприклад, дой-паки не правильно розміщені або знедбало упаковані, програмне забезпечення може прийняти відповідні кроки, такі як зупинка процесу, відправка повідомлення оператору або автоматичне виправлення ситуації.

Взаємодія з оператором: В процесі управління роботизованою системою може бути передбачена взаємодія з оператором. Наприклад, оператор може мати можливість налаштувати параметри робота, вибрати режим роботи або втрутитися в процес, якщо виникають проблеми.



Рис.4.8 блок-схема регламенту технологічного пуску РТК

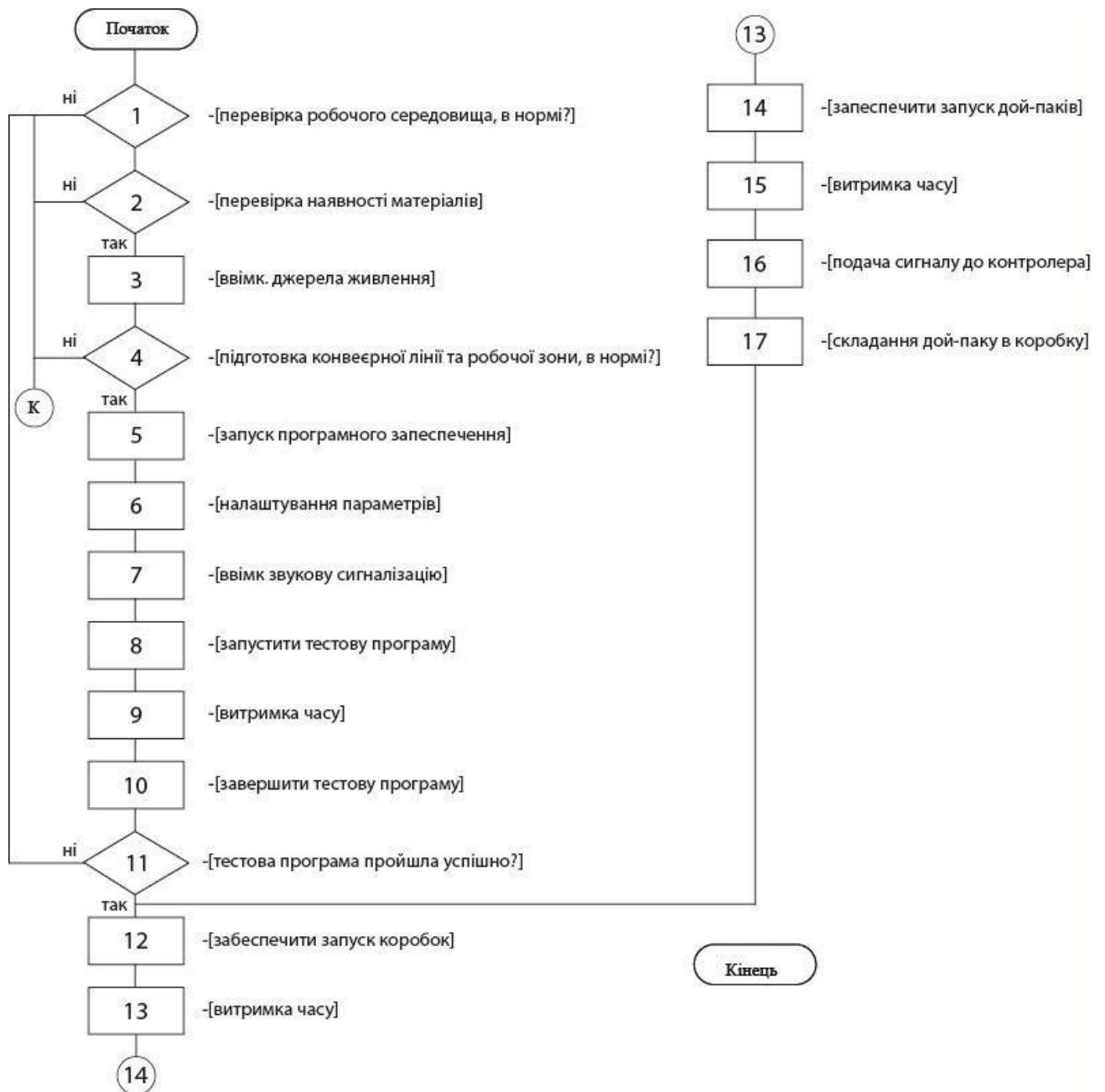


Рис.4.9 блок-схема алгоритму технологічного пуску РТК



Рис.4.9 блок-схема регламенту технологічної зупинки РТК

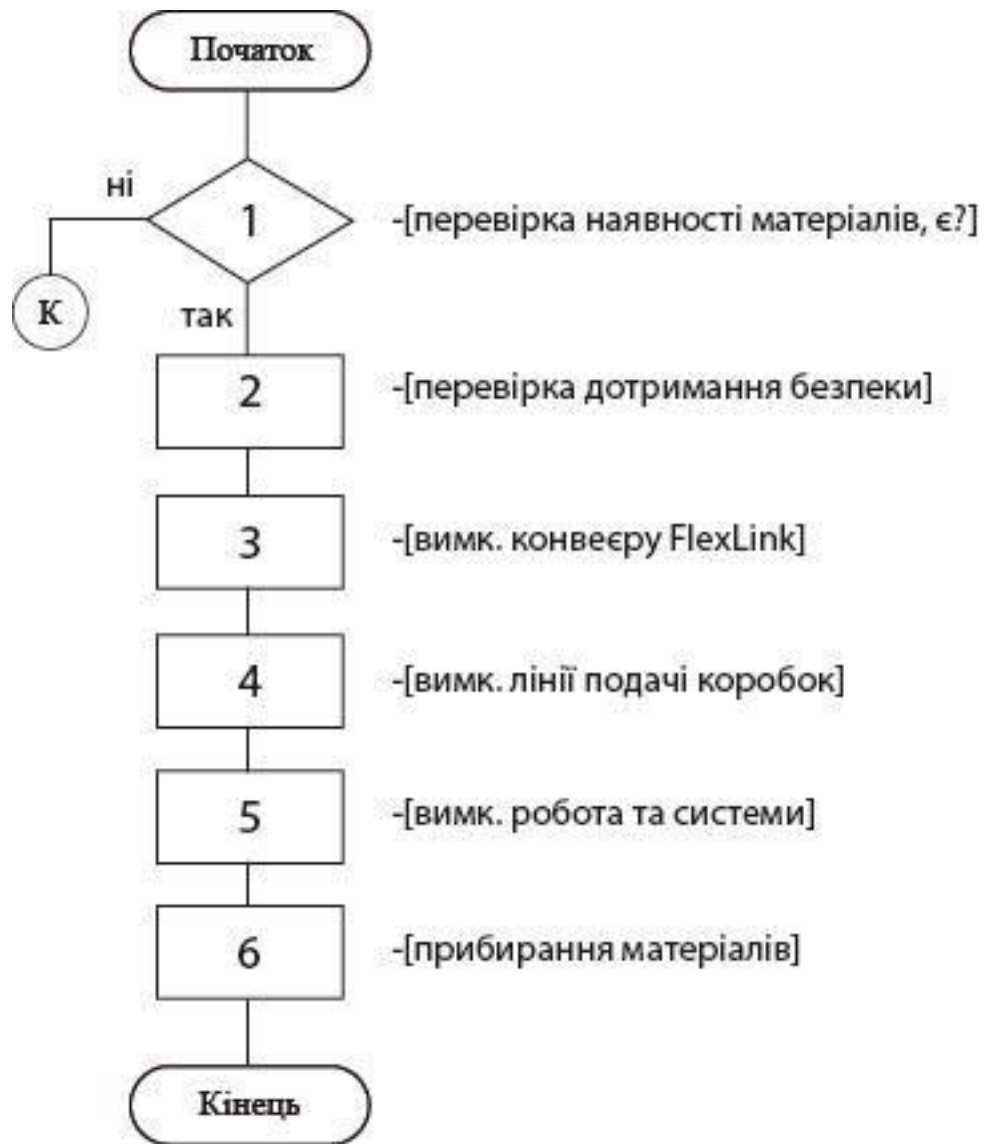


Рис.4.10 блок-схема алгоритму технологічної зупинки РТК

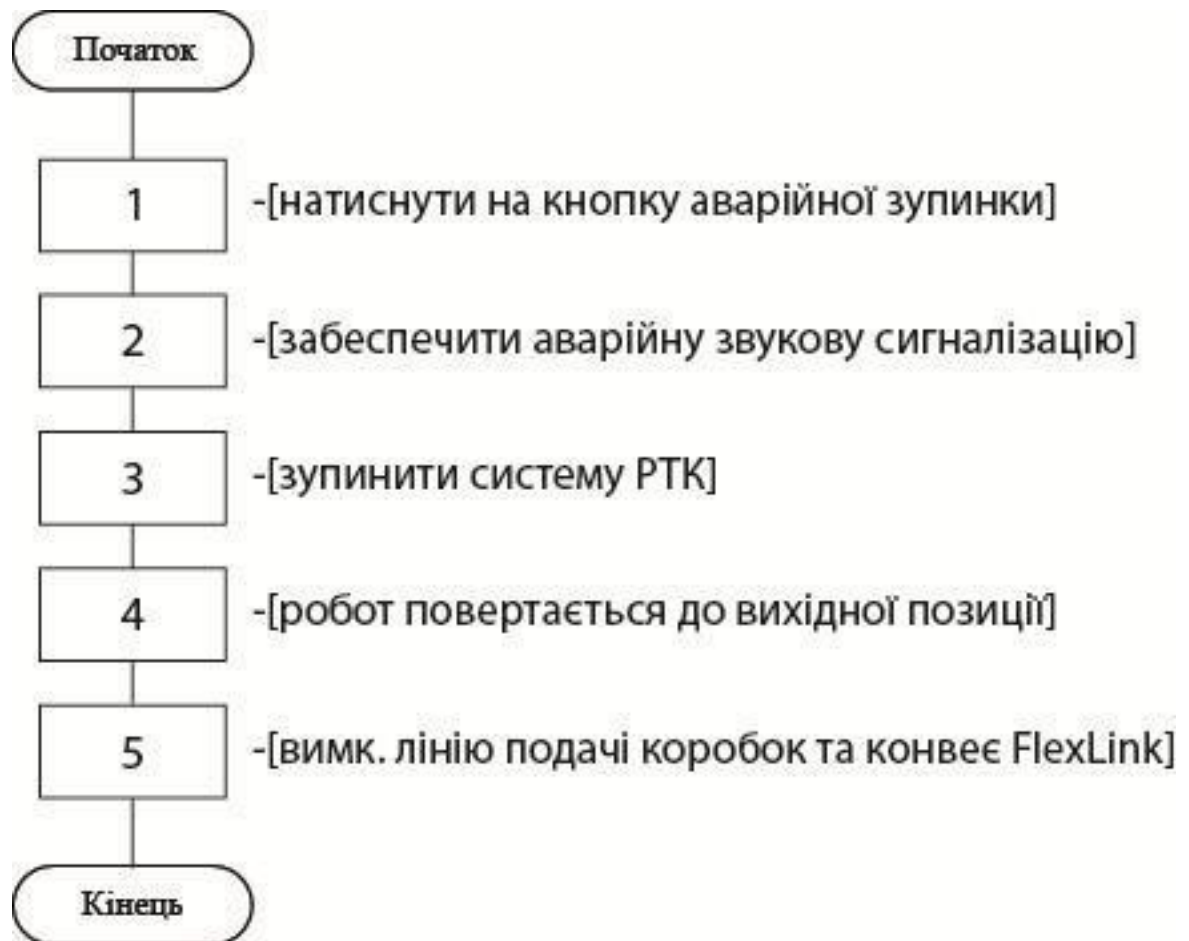


Рис.4.9 блок-схема регламенту аварійної зупинки РТК

2. Розділ

Проробітка ділянки та розробка рішення під РТК . Проектування та Моделювання. Побудова 3D світу . Пояснення своєї розробки. Підбір та обґрунтування вибору ТСА для реалізації рішення

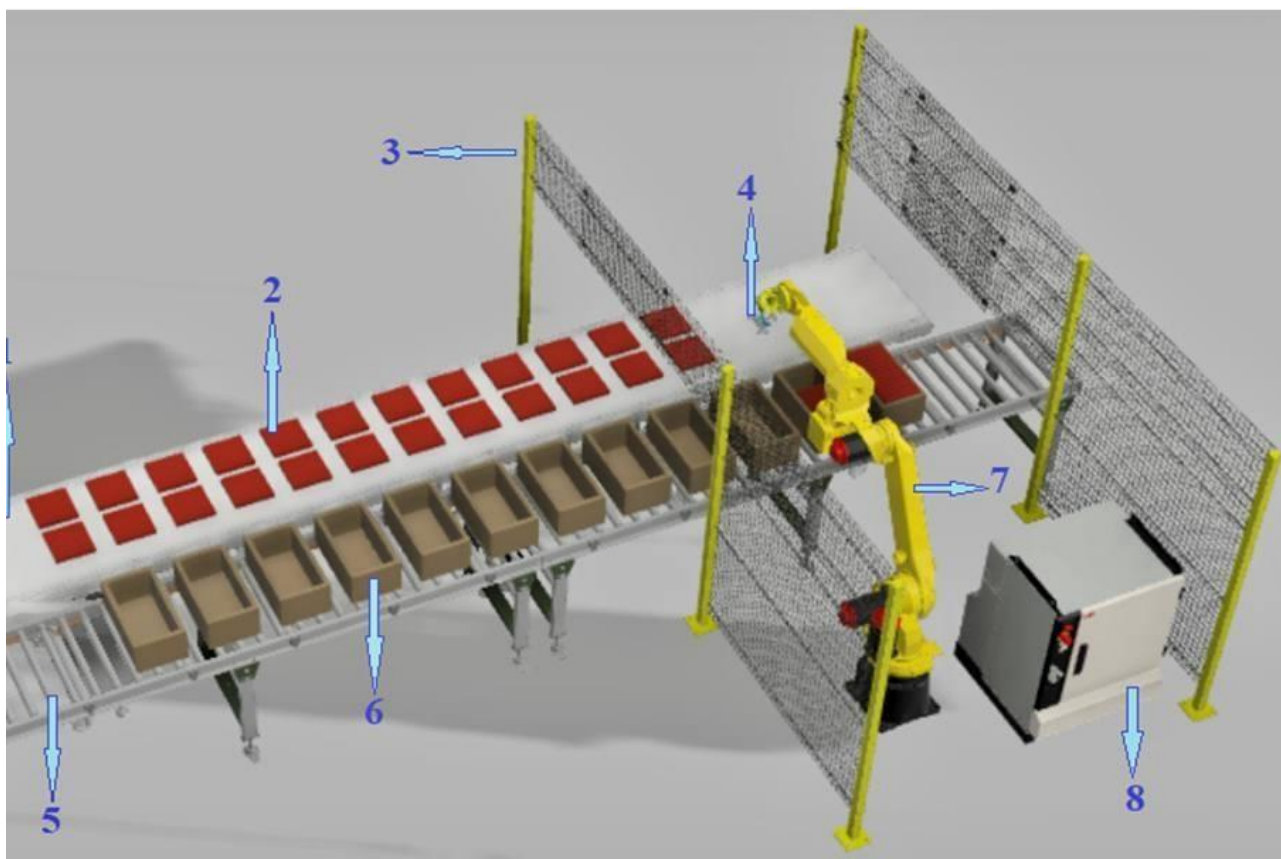


Рис.4.11 (роботизований технічний комплекс для пакування чай-паків)

Пояснення елементів на рис.3:

- 1. конвеєр FlexLink;**
- 2. чай-паки з чаєм GFS "ягода";**
- 3. огороження безпеки;**
- 4. захват;**
- 5. лінія подачі коробок;**
- 6. коробки;**
- 7. робот Fanuk R-1000iA;**
- 8. робототехнічний контролер R-30iB**

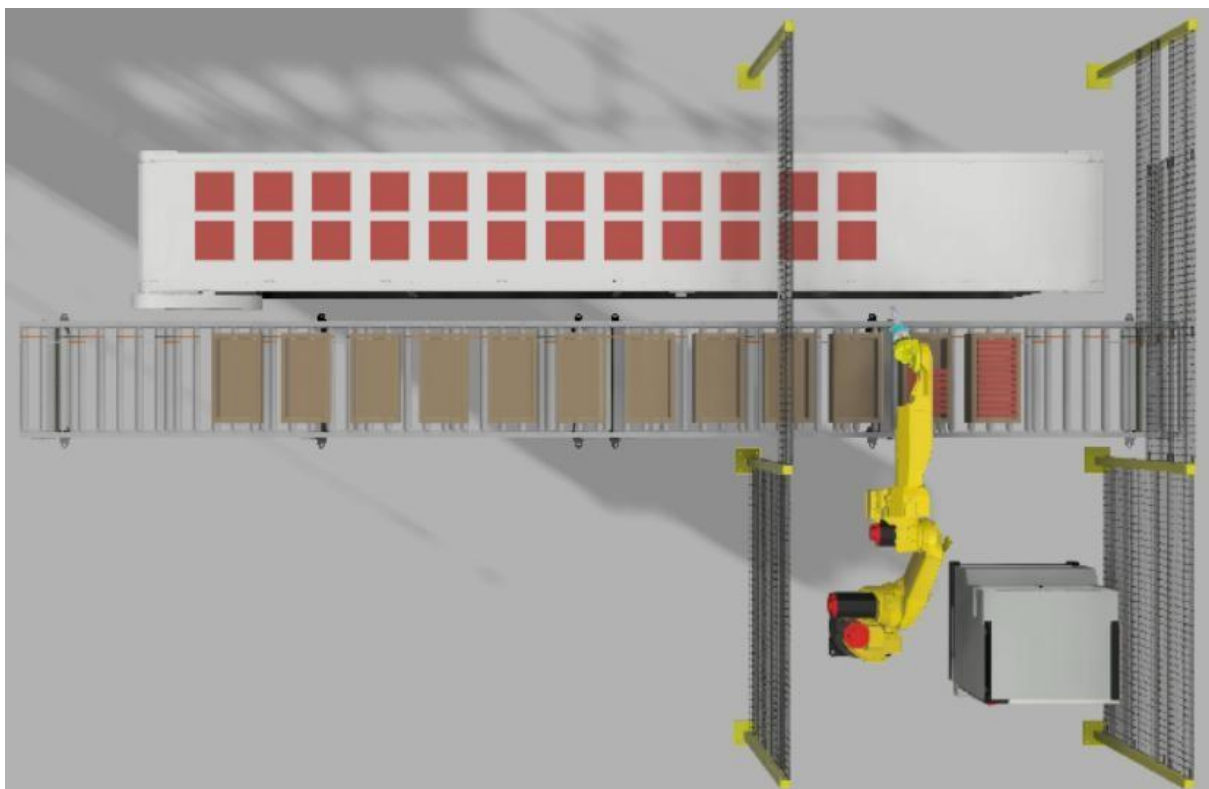


Рис.4.12 (вид сверху)



Рис.4.13 (вид спереду)

Для розробки рішення, спочатку визначаємося з типом і моделлю робота. Для цього завдання знадобиться промисловий робот. Обираємо робот Fanuk R-1000iA (рис.6), оскільки він компактний, швидкий та досить потужний. Підходить для різних галузей і застосувань, у тому числі і для укладки продукції. Він доволі компактний, що дозволяє йому працювати невеликими секціями і не робить негативного впливу на його продуктивність або ефективність.



Рис.4.14 (робот Fanuk R-1000iA)

Більша ефективність

Незважаючи на вантажопідйомність 130 кг, невеликі розміри і мінімальні вимоги до розмірів робочої зони, робот володіє унікальною мобільністю і високою механічною жорсткістю (рис.7). Радіус його дії в горизонтальній площині становить 2230 мм, у вертикальній площині - 3738 мм.(рис.8)

Вбудовані системи

Вбудовані системи пропускаються через руку робота, що запобігає втручанню в його роботу і дозволяє йому переміщатися в обмеженому просторі. Різні набори, застосовні до більшості промислових додатків, дозволяють вибрати конфігурацію робота, оптимальну для вашого застосування.

R-1000iA/130F



Максимальная нагрузка на кисть:

130 кг



Достигаемость:

2230 мм

Управляемых осей	Повторяемость (мм)	Вес (кг)	Угол поворота (°)						Максимальная скорость (°/s)						Момент силы J4 (Нм) / Момент инерции (кгм)	Момент силы J5 (Нм) / Момент инерции (кгм)	Момент силы J6 (Нм) / Момент инерции (кгм)
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6			
6	± 0.03*	675	360	245	360	720	250	720	130	110	120	170	170	250	800/71	800/71	360/38

 Робот	R-1000/A/130F
Площадь установки [мм]	605 X 450
Монтаж напольный	•
Монтаж в потолочном положении	•
Монтаж под углом	-
 Контроллер	R-30iB Plus
Шкаф Open Air	-
Шкаф Mate	○
Шкаф типа A	•
Шкаф типа B	○
Пульт управления iPendant	•
Электрические подключения	
Напряжение 50/60 Гц, 3 фазы [В]	380-575
Напряжение 50/60 Гц, 1 фазы [В]	-
Среднее потребление энергии [кВт]	3
Встроенные коммуникации	
Интегрированные Вх./Вых. цифровые сигналы в локтевом суставе	8/8
Интегрированная пневмомагистраль	2
Условия эксплуатации	
Уровень акустического шума [dB]	< 70
Рабочая температура окружающей среды [°C]	0-45
Класс IP защиты	
Корпус стандартный/опциональный	IP54/IP56
Запястье и рука J3 стандартный/опциональный	IP67

Рис.4.15 (характеристики робота)

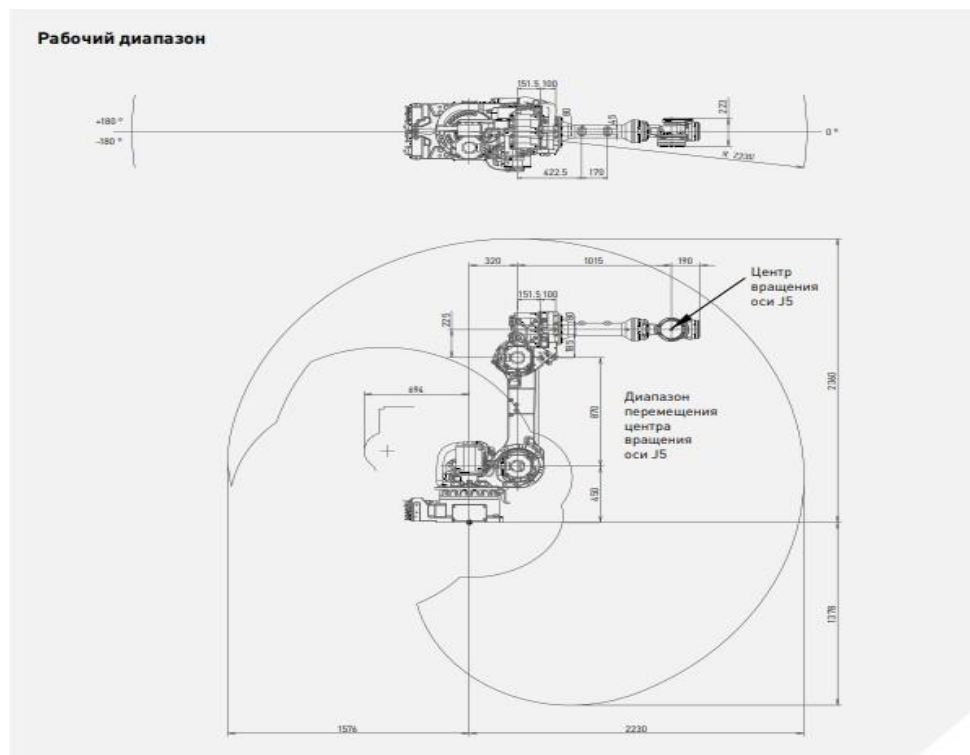


Рис.4.16 (схема робота)

Для реалізації цієї задачі підбираємо захват для робота (рис.7), який дасть можливість зажимом брати дой-паки (по 1 шт.) і перекладувати у тари.

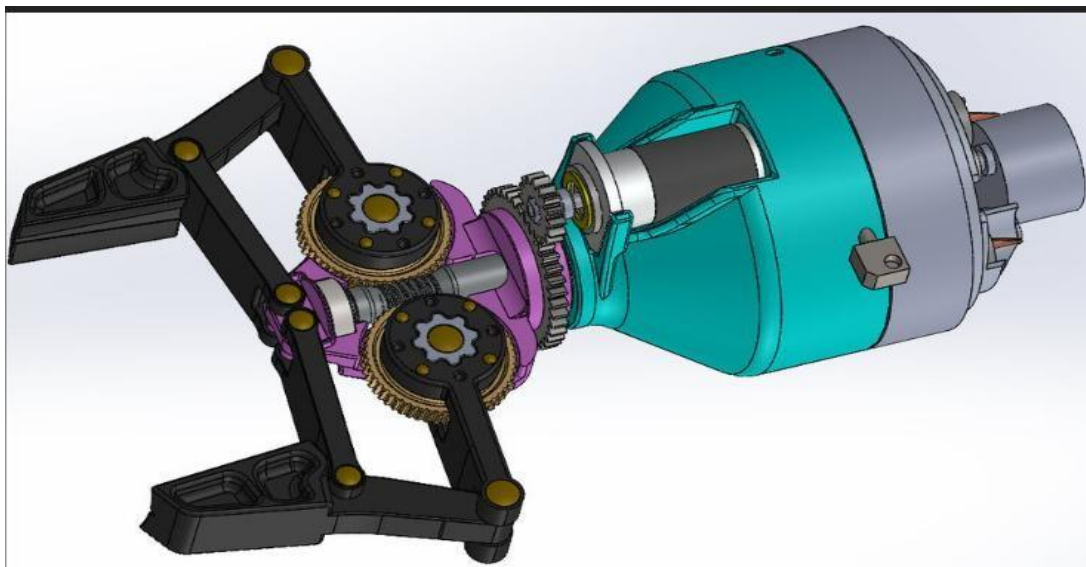
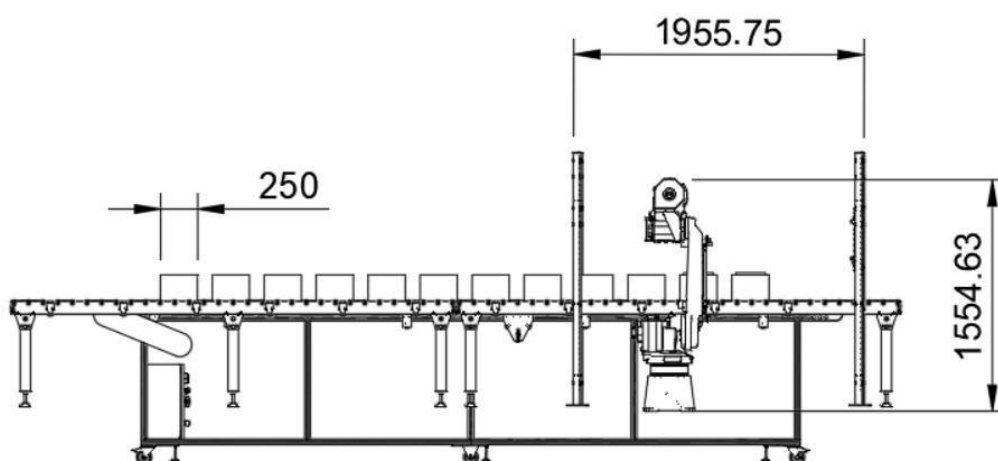


Рис.4.17 (захват для робота)

3. Розділ “Креслення моделей”



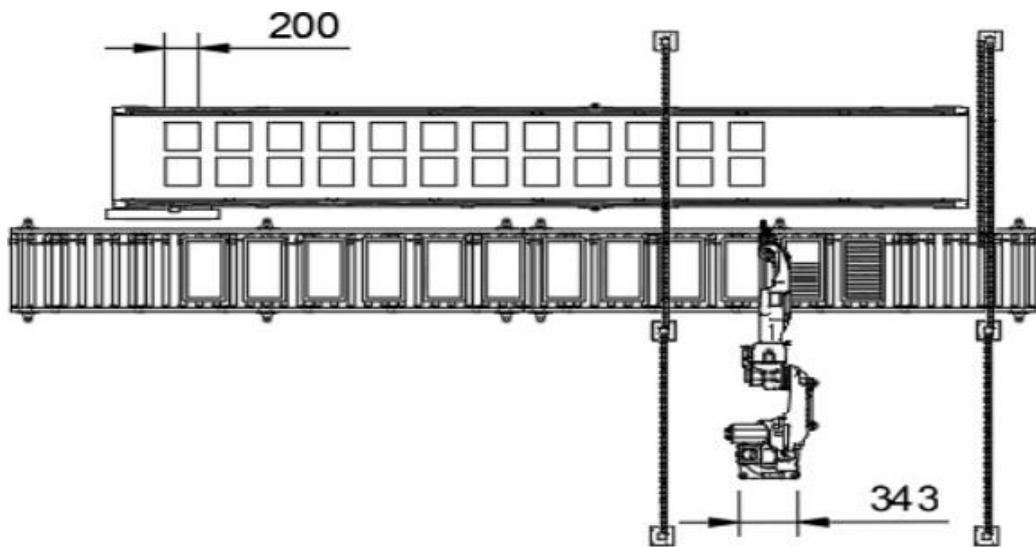


Рис.4.18 (креслення РТК)

Висновок:

В результаті виконання розділу були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки технологічного процесу сушіння чаю та пакування дой-паків в штатному та аварійному режимах. Я навчився розробляти та проектувати робототехнічні комплекси. Покращив свої знання у моделюванні та проектуванні. Розробив РТК пакування дой-паків для виробництва за допомогою креслення, розробки 3Д-світу. Отже, завдяки розрахованому рішенню - ця ділянка буде укладати товар у кілька разів швидше, адже робот може працювати 24 години на добу, а головне – замінить людську працю.

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

Процес сушіння чаю здійснюється в сушарці, яка встановлена у окремому приміщенні, температура повітря в якому змінюється в діапазоні 24...35 °С. Цей процес є пожежовибухонебезпечним, оскільки в приміщенні можуть виникнути фактори, які здатні викликати пожежу або вибух.

5.1.1 «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 °С (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.

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 (див. 8 і 11);

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 приміщення, де встановлена сушарка, слід віднести до жаркого приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

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

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

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.

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 приміщення, де встановлена сушарка, слід віднести до вибухонебезпечної зони класу 22.

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

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

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

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

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

Для приміщення, де встановлена сушарка, слід вибрати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Без засобів вибухозахисту».

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

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

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

Пожежонебезпечна зона класу П-IIa — 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 приміщення, де встановлена сушарка, слід віднести до пожежонебезпечної зони класу П-II.

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

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

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класу			
	П-I	П-II	П-IIa	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

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

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класів			
	П-I	П-II	П-IIa	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 приміщення, де встановлена сушарка, слід вибрати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP54.

Датчики температури повітря встановлені в сушарці. Датчик вологості встановлений на виході з сушарки. Виконавчий механізм зміни витрат гарячого повітря встановлений на сушарці. Обладнання системи керування та панель оператора-технолога знаходиться в шафі із ступенем захисту IP 54.

Рекомендований метал для засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнанням – нержавіюча сталь для харчових виробництв.

На обслуговуючий персонал діють такі шкідливі чинники, як шум та підвищена температура. Тому АРМ оператора-технолога виноситься в окреме приміщення, в яке зводиться вся необхідна інформація про стан технологічних параметрів. В системі передбачена можливість місцевого та дистанційного керування технологічним обладнанням.

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

В ході технологічно процесу екстракції використовуються наступні технічні засоби:

5.2.1 Для виміру температури гарячого та відпрацьованого повітря застосований датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П), діапазон 50 -150 °С.

Чутливі елементи обох датчиків температури встановлюються в сушарці.

	Технічні характеристики: Тип и НСХ: ТСМ (100П); Кількість ЧЕ: 2; Клас допуску: В; Схема з'єднання: 2-проводна; Різьбове з'єднання: М20х1,5; Матеріал захисної арматури: сталь 12Х18Н10Т; Діапазон температури: -50... 250 °С; Ступінь захисту: IP54 (до 120 °С). Ступінь вибухозахисту – 0ExiaПВТ6
а)	б)

Рис.- 5.1. Датчик температури Тера а) зовнішній вигляд;

б) технічні характеристики

5.2.2 Нормуючий вимірювальний перетворювач ПСТ (0/150) – 100П
Для перетворення опору датчика в уніфікований сигнал 4-20мА вибраний нормуючий пристрій ПСТ (0/150) -100П. Він встановлюється безпосередньо в корпусі датчика температури.

	Технічні характеристики: Тип ПСТ (0/150) - 100П; Схема з'єднання: 2-проводна; Діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 мА Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт; Умови експлуатації : - 30 ... + 50 °С, вологість 95% при 35 °С
а)	б)

Рис.5.2.- Нормуючий вимірювальний перетворювач а) зовнішній вигляд;

б) технічні характеристики

5.2.3 Для виміру вологості чаю на виході із сушарки застосований датчик вологості мікрохвильовий Hydro-Mix XT. Його зовнішній вигляд і технічні характеристики наведені на рисунку 5.3.

	Диапазон рабочих температур (температура процесса) 0–60 °C (32–140 °F) Датчик не проводит измерения в замороженном материале Рабочее давление Hydro-Mix XT работает в диапазоне от вакуума 1 бар до давления 5 бар (при использовании входящего в комплект поставки уплотнительного кольца) Напряжение электропитания 15–30 В постоянного тока. 1 А, мин. для запуска (нормальная рабочая мощность: 4 Вт). Аналоговые выходы Два конфигурируемых выхода 0–20 мА или 4–20 мА для значений влажности и температуры, работающих по принципу токовой петли. Выходы датчика могут быть также преобразованы в 0–10 В постоянного тока. Степінь вибухозахисту – 0ExiaIIBT6
б)	в)

Рис. 5.3. – Датчик мікрохвильовий Hydro-Mix XT: а) схема встановлення;

б) зовнішній вигляд; в) технічні характеристики

5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

5.3.1 Для регулювання витрат гарячого повітря застосована заслінка, яка входить в комплект сушарки. В якості приводу для заслінки використаний електропривід BELIMO LH24A-SR100, степінь захисту корпусу IP54.

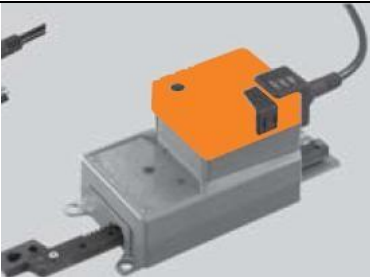
	<table><tr><th>Усилие</th><th>Площадь заслонки</th><th>Ход штока</th><th>Время хода</th><th>Напряжение питания</th></tr><tr><td rowspan="4">150 Н</td><td rowspan="4">1м²</td><td>60мм</td><td rowspan="4">150 с / 100 мм</td><td>24 В</td></tr><tr><td>100мм</td><td>230 В</td></tr><tr><td>200мм</td><td>24 В</td></tr><tr><td>300мм</td><td>230 В</td></tr></table>	Усилие	Площадь заслонки	Ход штока	Время хода	Напряжение питания	150 Н	1м ²	60мм	150 с / 100 мм	24 В	100мм	230 В	200мм	24 В	300мм	230 В
Усилие	Площадь заслонки	Ход штока	Время хода	Напряжение питания													
150 Н	1м ²	60мм	150 с / 100 мм	24 В													
		100мм		230 В													
		200мм		24 В													
		300мм		230 В													
а)	б)																

Рис. 5.4. – Электропривід BELIMO LH24A-SR100:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

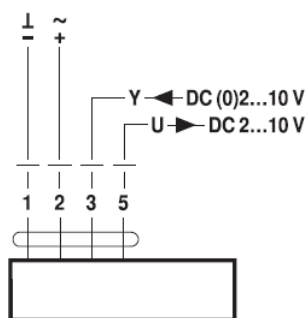


Рис. 5.5 Схема електричних підключень електроприводу BELIMO LH24A-SR100

5.3.1 Для прямого пуску та зупинки електроприводів сушарки обрані наступні технічні засоби.

Для електроприводу потужністю 5.5 кВт застосований автоматичний вимикач захисту двигуна SIEMENS SIRIUS 3RV2021-1KA10, діапазон регульованої теплової уставки 9.0 ... 12.5 А, номінальна потужність 5.5 кВт/ 400В , струм миттєвого спрацювання 163.0 А, номінальний струм 12.5 А, гарантований струм розчеплення при к.з 100кА / 400 В., типорозмір S0, пускова перевантажувальна характеристика CLASS 10.

Контактор Siemens 3RT2017-1AP1-0CC0, для комутації електродвигунів, 3-полюсний, АС-3, потужність двигуна 5,5кВт/400В, Іном. 12 А, з блок-контактом 1НВ, номінальна напруга управління АС 230 В, типорозмір S00, номінальний струм основного контакту 12 А, з можливістю комунікації, гвинтові клеми.

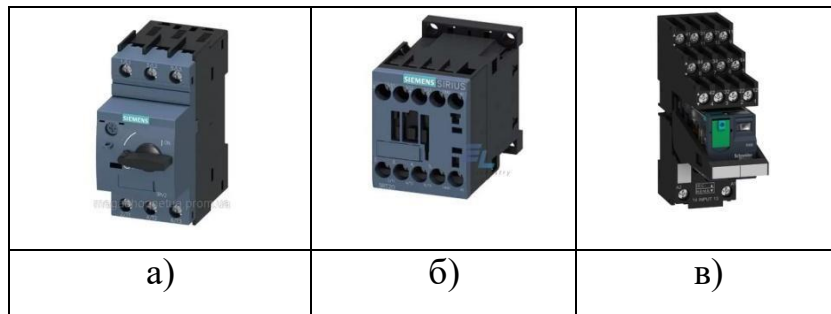


Рис. 5. 6 Зовнішній вигляд:

а) автоматичного вимикача 3RV2021-1KA10;

б) контактора 3RT2017-1BB41-0CC0

в) проміжного реле Schneider Electric RXM4AB2BDPVS

Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24V DC, 6A, LED (RXM4AB2BDPVS) служить для розмноження сигналів та гальванічного розподілу.

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

5.4.1 Аналіз входних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи. Виконавши аналіз системи автоматизації подрібнення м'яса за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні оброблятися в керуючому пристрої - контролері.

Табл. 5.5 Список параметрів на входах або виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Температура гарячого повітря	A	I	0...20 mA DC
2	Температура вологого повітря	A	I	0...20 mA DC
3	Вологість чаю на виході	A	I	0...20 mA DC
4	Сигнал стану авт.вимикача M1	D	I	24 V DC
5	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
6	Сигнал перемикача режиму M1	D	I	24 V DC
7	Сигнал стану кнопки АвСтоп M1	D	I	24 V DC
8	Сигнал стану авт.вимикача M2	D	I	24 V DC
9	Сигнал стану контактора M2	D	I	24 V DC
10	Сигнал перемикача режиму M2	D	I	24 V DC
11	Сигнал стану авт.вимикача M3	D	I	24 V DC
12	Сигнал стану контактора M3	D	I	24 V DC
13	Сигнал перемикача режиму M3	D	I	24 V DC
14	Сигнал стану авт.вимикача M4	D	I	24 V DC
15	Сигнал стану контактора M4	D	I	24 V DC
16	Сигнал перемикача режиму M4	D	I	24 V DC
17	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC

18	Сигнал керування М2	D	O	24 V DC
19	Сигнал керування М3	D	O	24 V DC
20	Сигнал керування М4	D	O	24 V DC
21	Сигнал керування звук.сигн.	D	O	24 V DC
22	Сигнал керування виконавчим механізмом повітряної заслінки	A	O	0...10 V DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:
 AI – 3, AO – 1, DI – 13, DO – 5

5.4.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

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

Систему керування ПВК будемо розробляти на базі контролера S7-1500 фірми Siemens. Враховуючи, що центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, доцільно розмістити їх у навісній шафі зі ступенем захисту не менш IP54 в окремому від технологічного устаткування приміщенні.

На наступних рисунках наведені рекомендації з монтажу Simatic S7-1500 у шафі з урахуванням зазорів, можливості розсіювання тепла, а також схема заземлення.

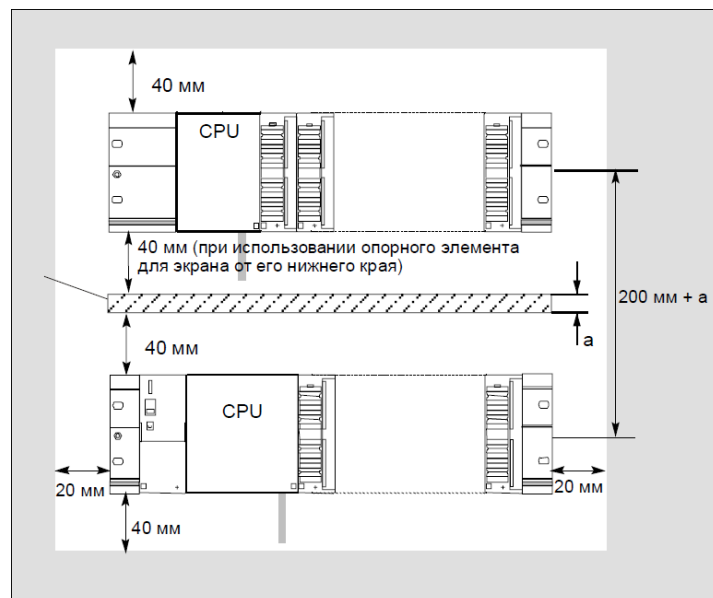


Рис. 5.7 Зазори при встановленні S7-1500 у шафі

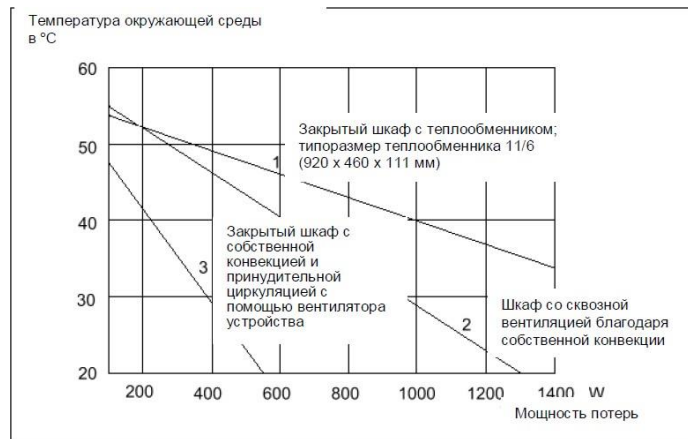


Рис. 5.8 Диаграмма припустимих потужностей розсіювання

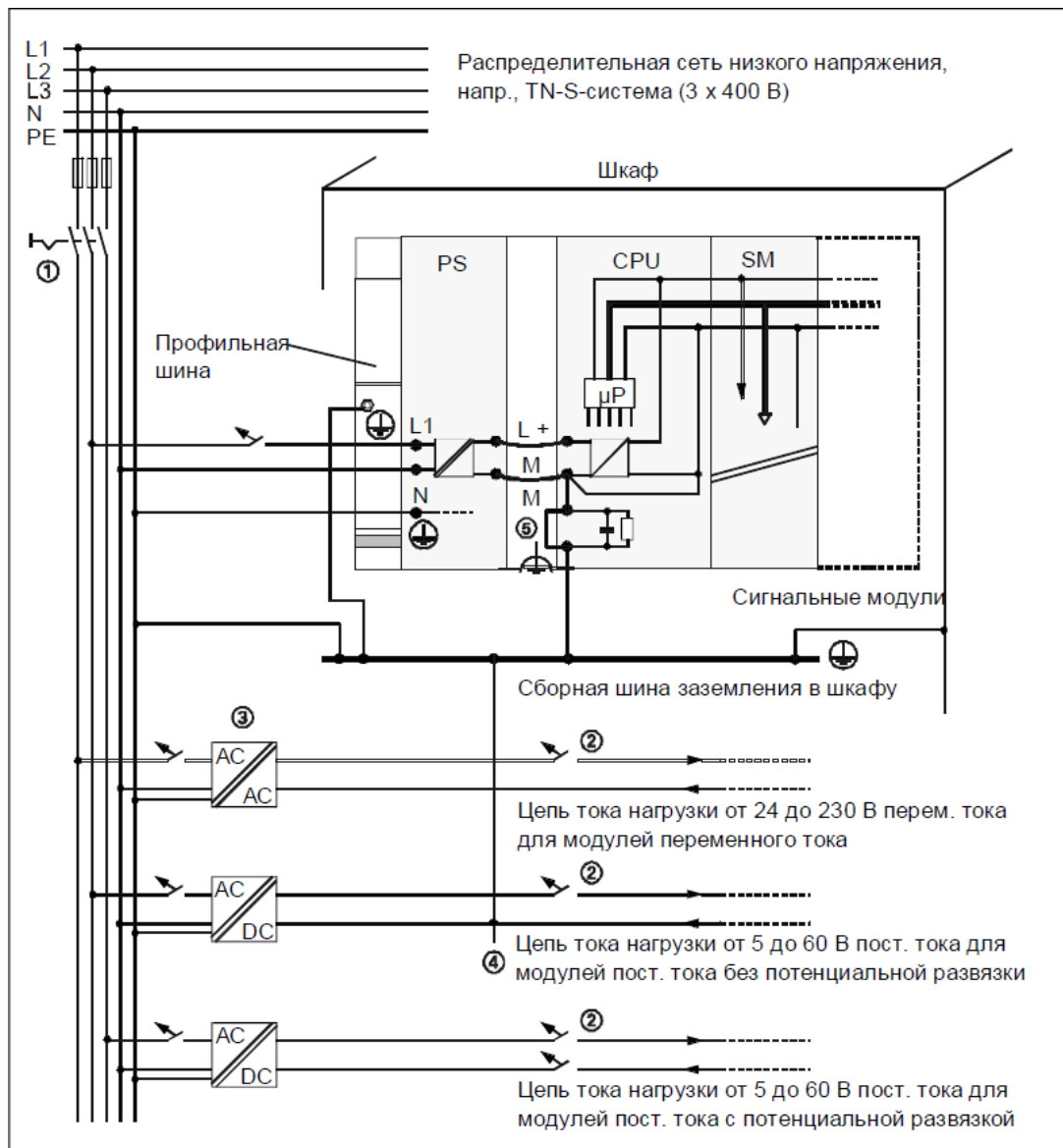


Рис. 5.9 Схема заземлення в шафі

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

Враховуючи список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролера, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування приймає наступний вигляд.

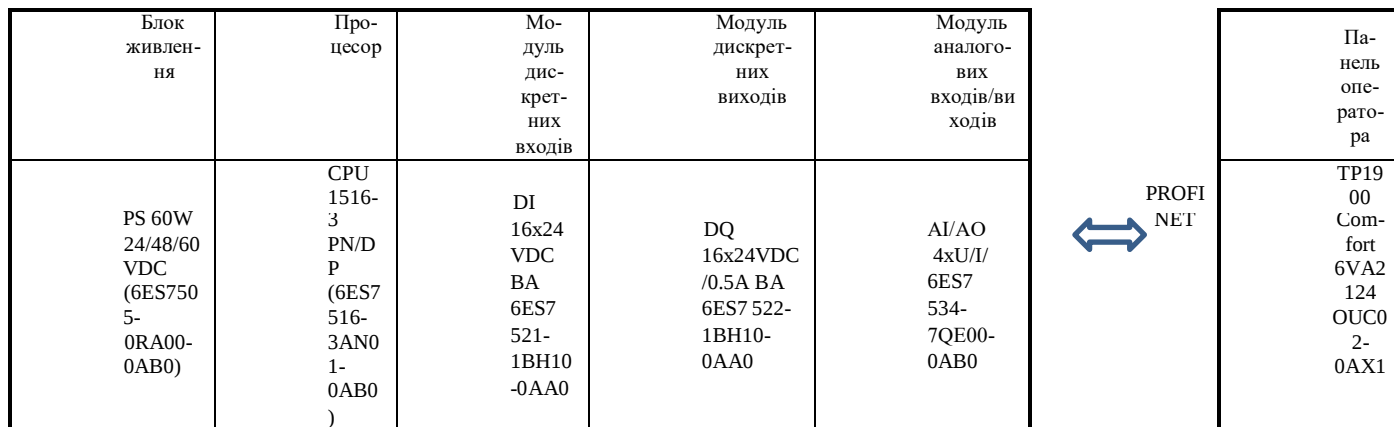


Рис. 5.10 Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

Центральний процесор CPU 1516-3 PN / DP призначений для побудови систем управління, що вимагають виконання програм великого об'єму, високій швидкості оброблення даних і обслуговування систем розподіленого введення-виведення на основі мереж PROFINET IO і PROFIBUS DP. Оснащений інтерфейсами PROFINET, а також PROFIBUS.

6ES7516-3AN01-0AB0			
General information		Input current	
Product type designation	CPU 1516-3 PN/DP	Current consumption (rated value)	0.85 A
Hardware function version	FS03	Inrush current, max.	2.4 A; rated value
Firmware version	V2.0	I _{tr}	0.02 A*s
Engineering with STEP 7 TIA Portal can be configured/integrated as of version		Power	
Configuration control	V14	Power consumption from the backplane bus (balanced)	6.7 W
Via data record	Yes	Incoming power to the backplane bus	12 W
Display		Power loss	
Screen diagonal (cm)	6.1 cm	Power loss, typ.	7 W
Operator controls		Memory	
Number of buttons	6	Number of slots for SIMATIC memory card	1
Mode selector	1	SIMATIC memory card required	Yes
Supply voltage		Work memory	
Type of supply voltage	24 V DC	Integrated (for program)	1 MB
Low limit of permitted range (DC)	19.2 V	Integrated (for data)	5 MB
High limit of permitted range (DC)	28.8 V		
Reverse polarity protection	Yes		
Power and voltage failure buffering			
Power/voltage failure buffer time	5 ms		

Рис. 5.11 Технічні дані CPU

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

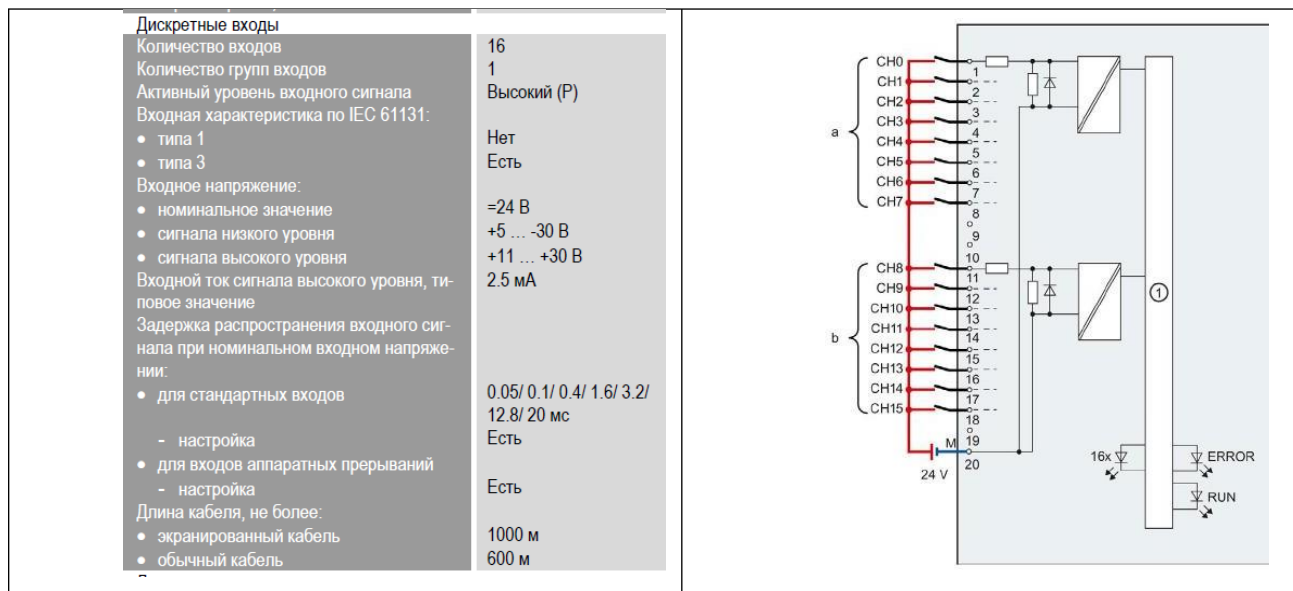


Рис. 5.12 Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

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

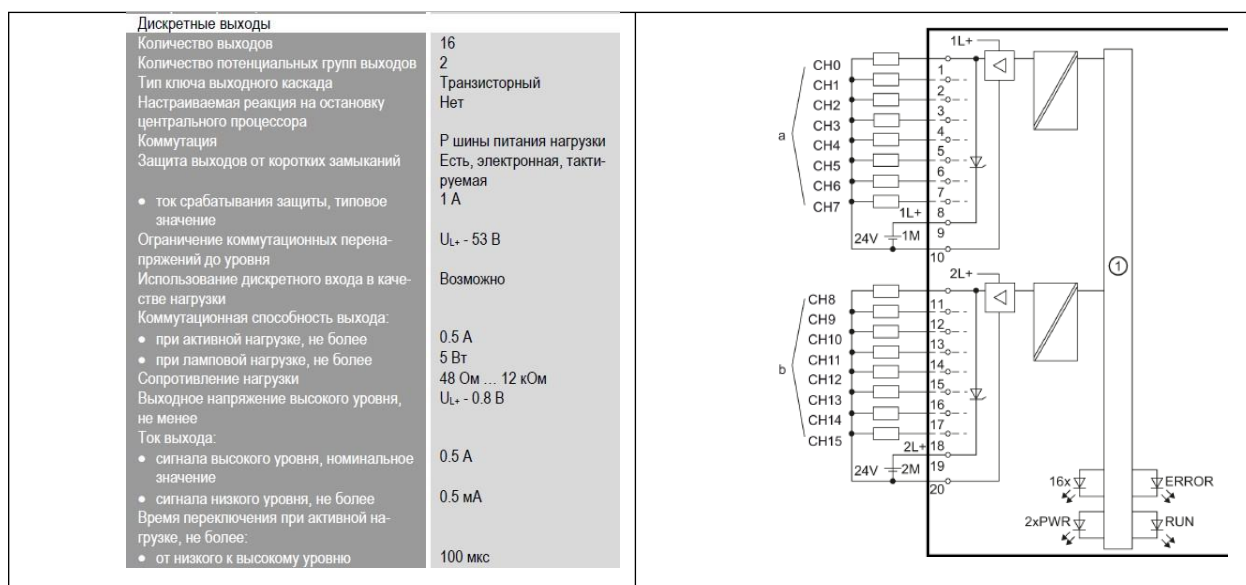


Рис. 5.13 Технічні характеристики та схема підключень

DQ 16x24VDC/0.5A BA

Рекомендації щодо підключення дискретних сигналів. У тих випадках, коли від контакторів приходять сигнали ~220 В змінного струму, то для їхнього перетво-

рення в сигнали ≈ 24 В постійного струму слід використовувати інтерфейсні реле, наприклад, фірми Relpol.

Для захисту вихідних ланцюгів модулів дискретного виходу від індуктивних перенапруг, які виникають при відключенні індуктивностей (катушок реле й контакторів), при монтажі слід керуватися наступними рекомендаціями:

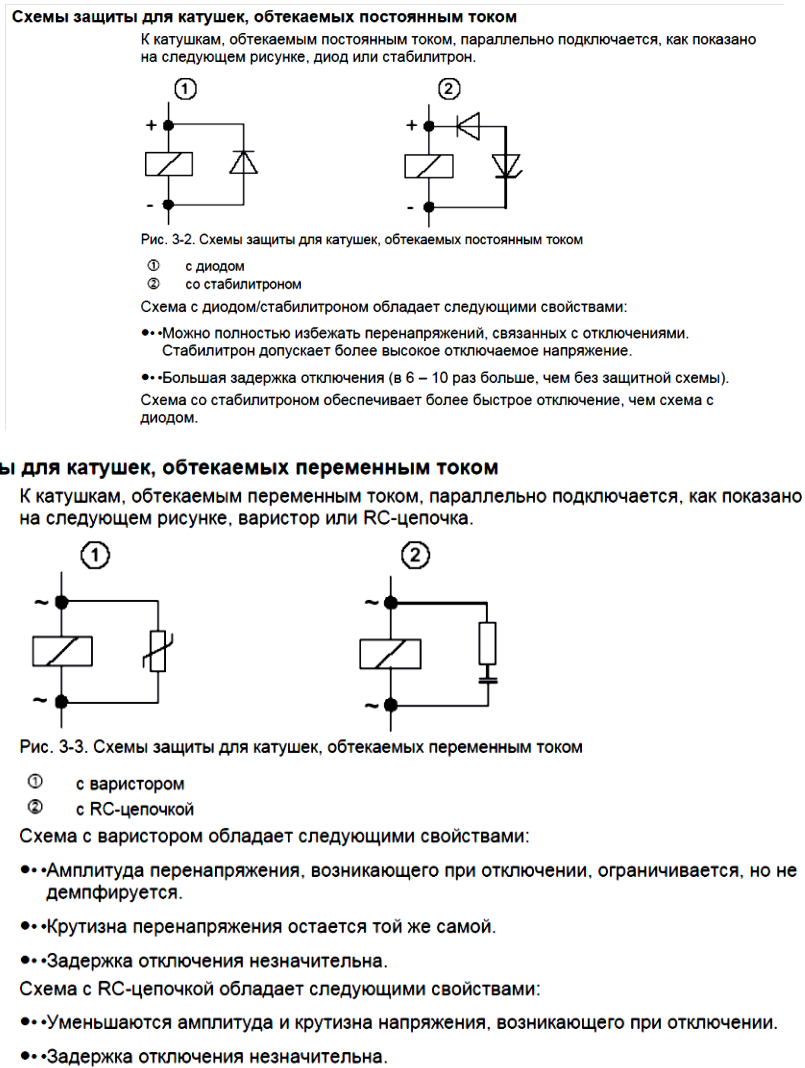


Рис. 5.14 - Рекомендації Siemens при підключенні дискретних виходів

Для вводу/виводу аналогових сигналів обраний модуль AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0).

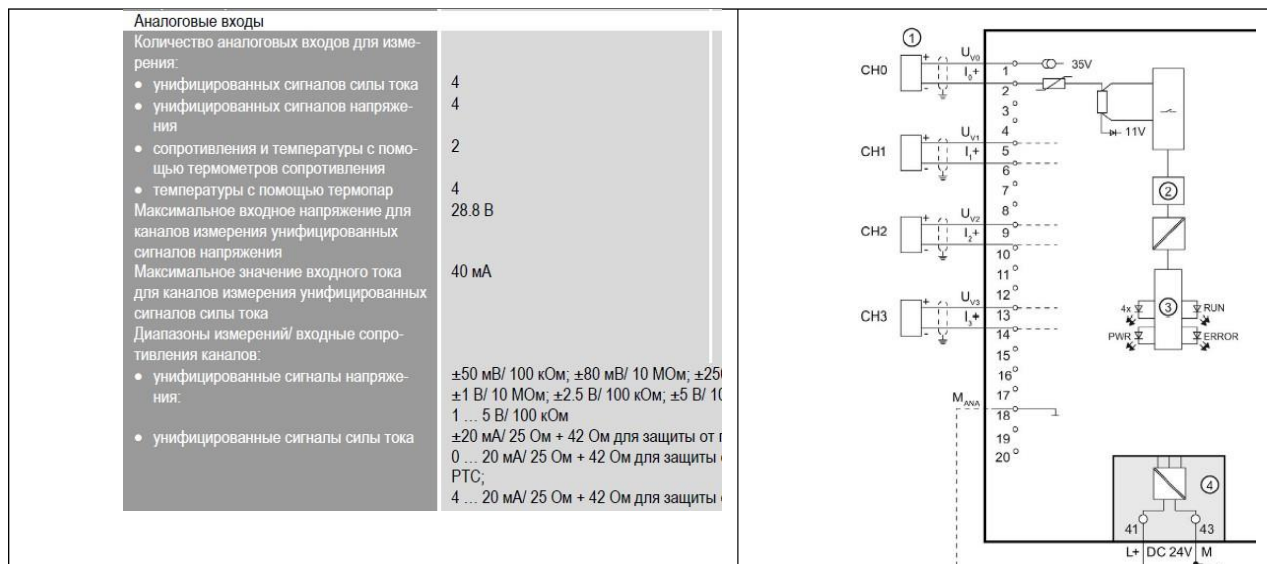


Рис. 5.15 Технічні характеристики та схема підключень датчиків сили струму до входів 6ES7534-7QE00-0AB0

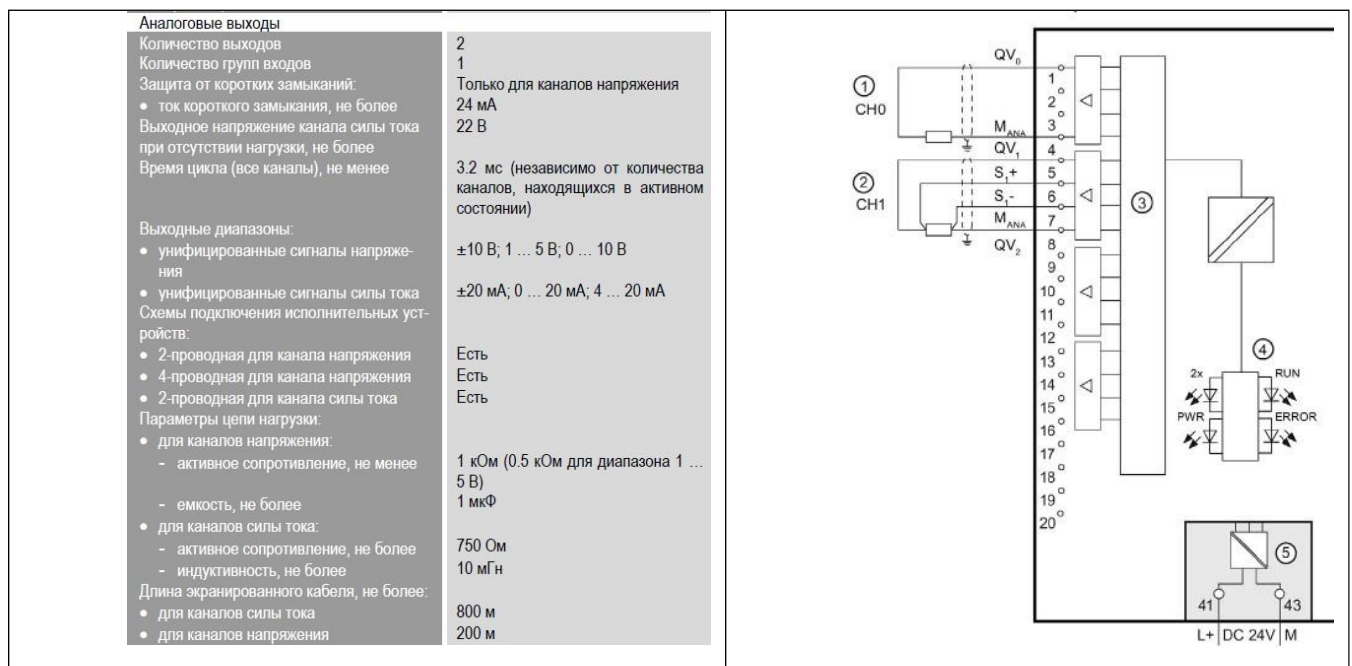


Рис. 5.16 Технічні характеристики та схема формування уніфікованої напруги на виходах 6ES7534-7QE00-0AB0

Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом сушіння чаю. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Мікропроцесорне ядро системи керування побудоване за

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

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ САУ

6.1 Програмне конфігурування контролера

У середовищі TIA Portal створюємо проект і додаємо до його складу обрані контролер CPU 1516-3 PN / DP та панель оператора TP1900 Comfort.

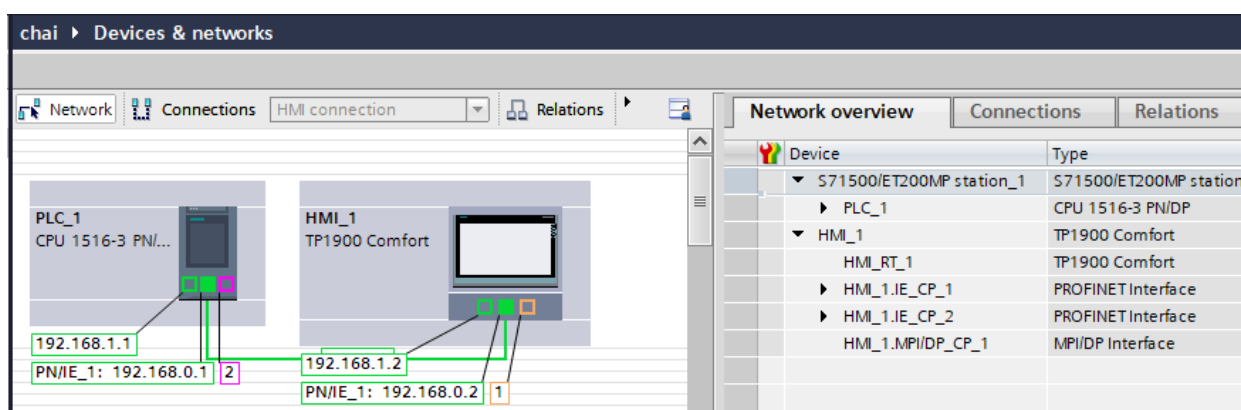


Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проекту

Виконуємо конфігурування обраного контролера і модулів ПЗО. Спочатку необхідні модулі вводу/виводу перетягуємо в поле редагування з бібліотеки, присвоюємо імена фізичним входам і виходам.

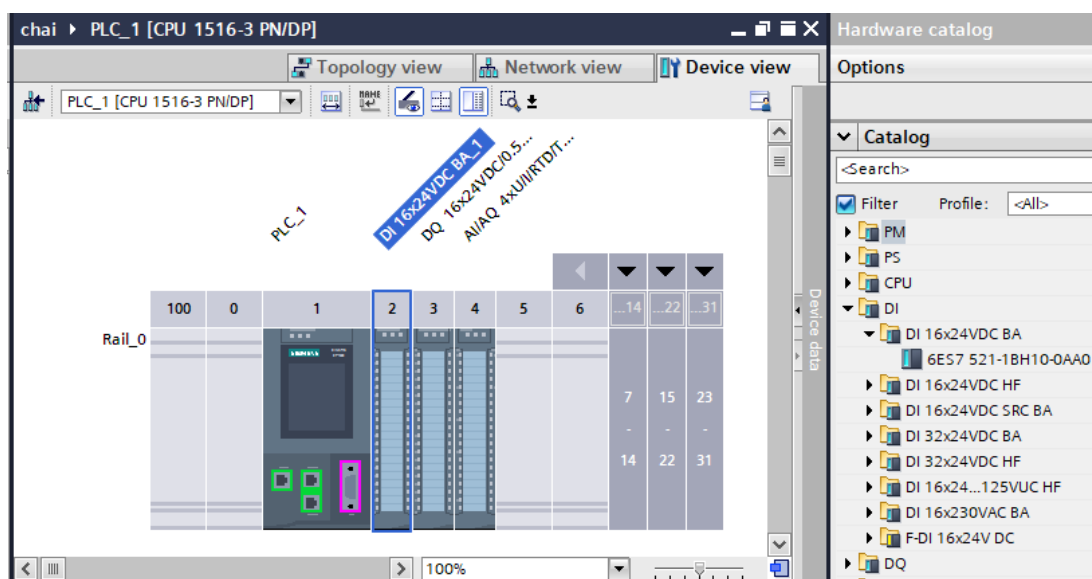


Рис. 6.2 Визначення модулів ПЗО

Визначаємо у властивостях модулів вид сигналів та діапазони їх зміни.

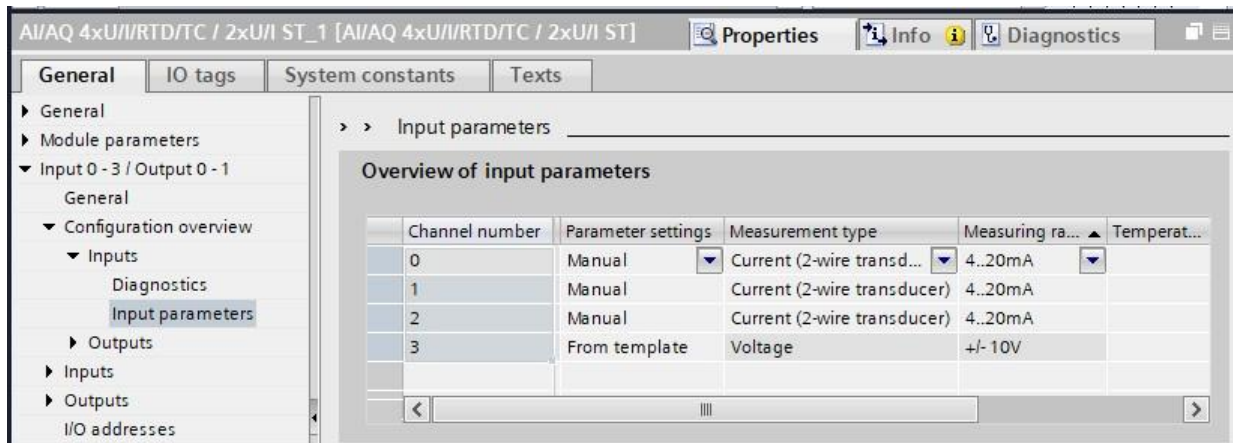


Рис. 6.3 Приклад визначення виду вхідного сигналу
і діапазону його зміни

Остаточне визначення імен входів/виходів проводимо в таблиці тегів програми.

	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Access	Write	Visible	Sup
17	bin_FowardM1	Default tag table	Bool	%I0.2	☐	☒	☒	☒	
18	bin_FowardM2	Default tag table	Bool	%I0.3	☐	☒	☒	☒	
19	bin_FowardM3	Default tag table	Bool	%I0.4	☐	☒	☒	☒	
20	bin_FowardM4	Default tag table	Bool	%I0.5	☐	☒	☒	☒	
21	input7	Default tag table	Bool	%I0.6	☐	☒	☒	☒	
22	input8	Default tag table	Bool	%I0.7	☐	☒	☒	☒	
23	Input9	Default tag table	Bool	%I1.0	☐	☒	☒	☒	
24	Input10	Default tag table	Bool	%I1.1	☐	☒	☒	☒	

Рис. 6.4 Приклад вікна таблиці тегів

6.2 Розробка програмного забезпечення

6.2.1 В дереві каталогу проекту створюємо два підкаталоги SysLc, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи регулювання, та Logic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування.

У вкладці Libraries відкриваємо бібліотеку SOL і за допомогою миші перетягуємо в проект теги з бібліотеки SOL та необхідні функціональні блоки.

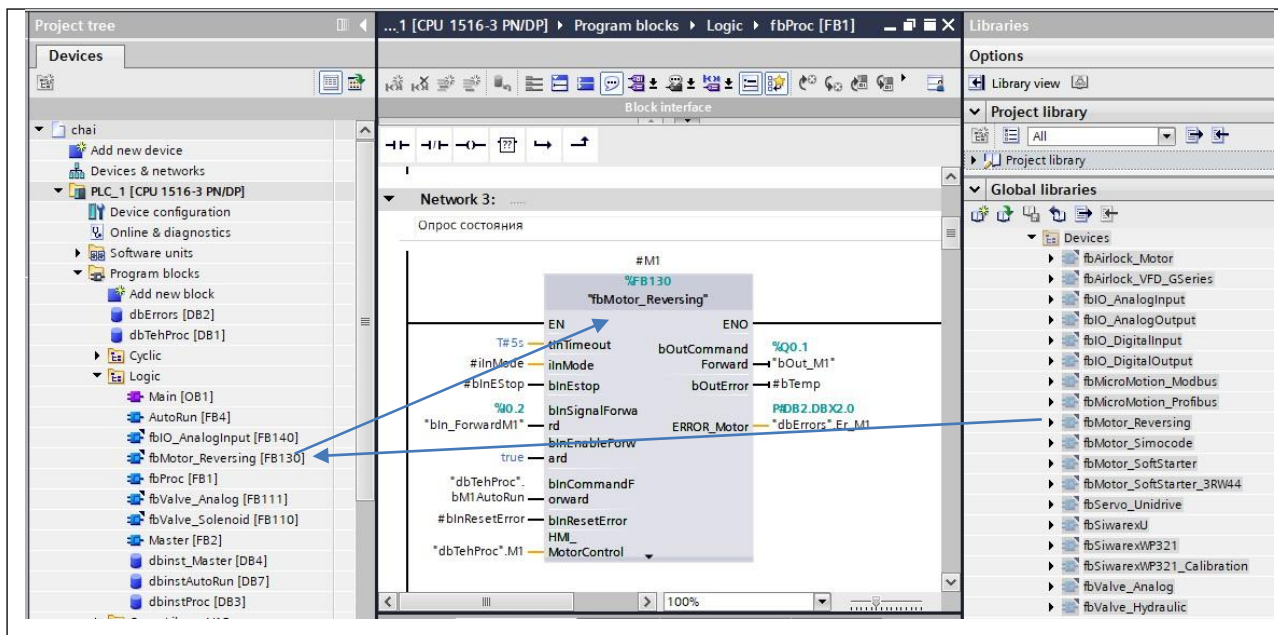


Рис. 6.5 Приклад додавання функціонального блоку FB Motor

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

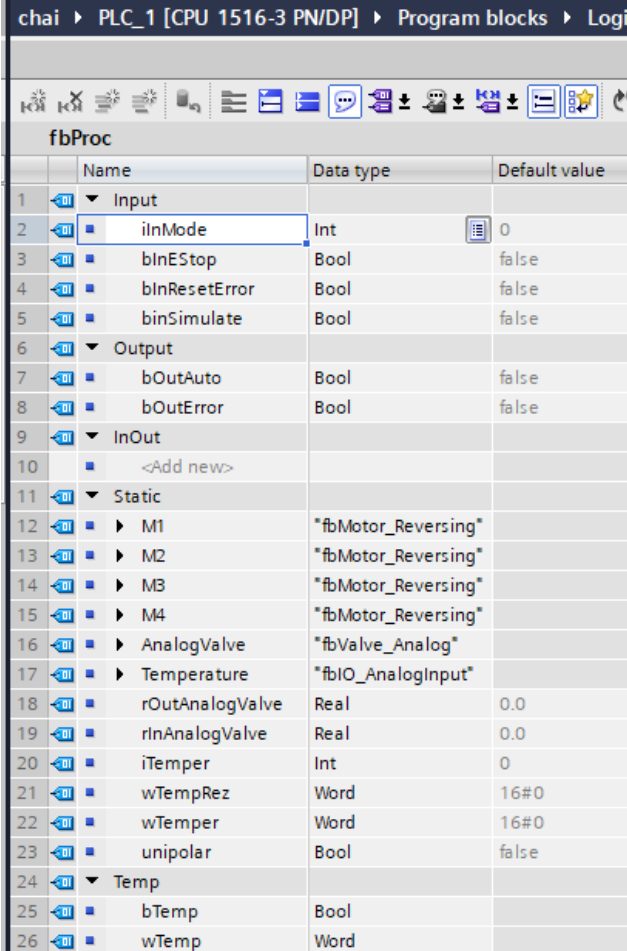
Name	Data type	Offset	Start value	Re...
Static				
Er_Valve_Analog	"udtError_Analo..."	0.0		
Er_M1	"udtError_Motor"	2.0		
Er_M2	"udtError_Motor"	4.0		
Er_M3	"udtError_Motor"	6.0		
Er_M4	"udtError_Motor"	8.0		
Er_PID	"udtError_PID_Com..."	10.0		

Name	Data type	Start value	Retain
Static			
AnalogValve	"udtHMI_AnalogValv..."		
M1	"udtHMI_MotorControl"		
M2	"udtHMI_MotorControl"		
M3	"udtHMI_MotorControl"		
M4	"udtHMI_MotorControl"		
SystemControl	"udtHMI_SystemControl"		

Рис. 6.6 Створення глобальних dbTehProc, dbErrors

6.2.2 Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів M1...M4 та виконавчого механізму повітряної заслінки (аналогового клапану). Створюємо інтерфейс цього функціонального блоку, в якому вказуємо імена змінних та їх типи.



	Name	Data type	Default value
1	Input		
2	inMode	Int	0
3	bInEStop	Bool	false
4	bInResetError	Bool	false
5	bInSimulate	Bool	false
6	Output		
7	bOutAuto	Bool	false
8	bOutError	Bool	false
9	InOut		
10	<Add new>		
11	Static		
12	M1	*fbMotor_Reversing*	
13	M2	*fbMotor_Reversing*	
14	M3	*fbMotor_Reversing*	
15	M4	*fbMotor_Reversing*	
16	AnalogValve	*fbValve_Analog*	
17	Temperature	*fbIO_AnalogInput*	
18	rOutAnalogValve	Real	0.0
19	rInAnalogValve	Real	0.0
20	iTemper	Int	0
21	wTempRez	Word	16#0
22	wTemper	Word	16#0
23	unipolar	Bool	false
24	Temp		
25	bTemp	Bool	
26	wTemp	Word	

Рис. 6.7 Інтерфейс fbProc

Підпрограма fbProc створена на мові LD. Для кожного електроприводу викликається екземпляр бібліотечного функціонального блоку fbMotor_Reversing та попередньо пишеться строчка програми, яка імітує зворотній зв'язок з виходу цього блоку на його вхід, тобто спрацювання контактора електропривода. До входів/виходів fbMotor_Reversing підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors (рис. 6.8).

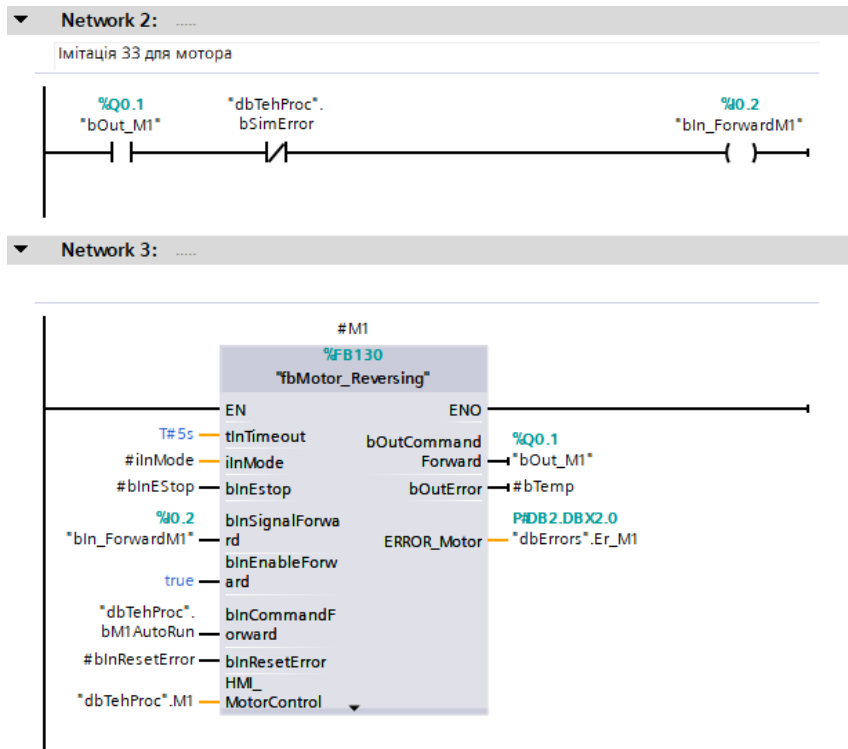


Рис. 6.8 Фрагмент підпрограми fbProc

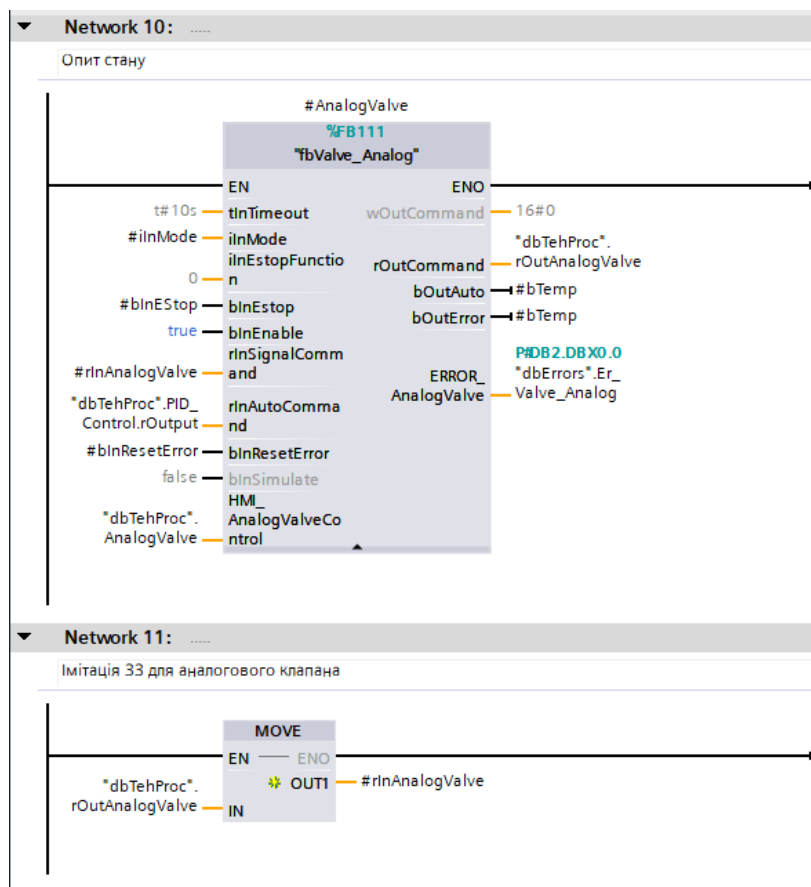


Рис. 6.9 Фрагмент підпрограми fbProc

Аналогічно здійснюється опит стану аналогового клапану (рис. 6.9), тобто виконавчого механізму повітряної заслінки. Для цього викликається екземпляр бібліотечного функціонального блоку fbValve_Analog, до входів/виходів якого підключаються відповідні змінні.

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання (рис. 6.10).

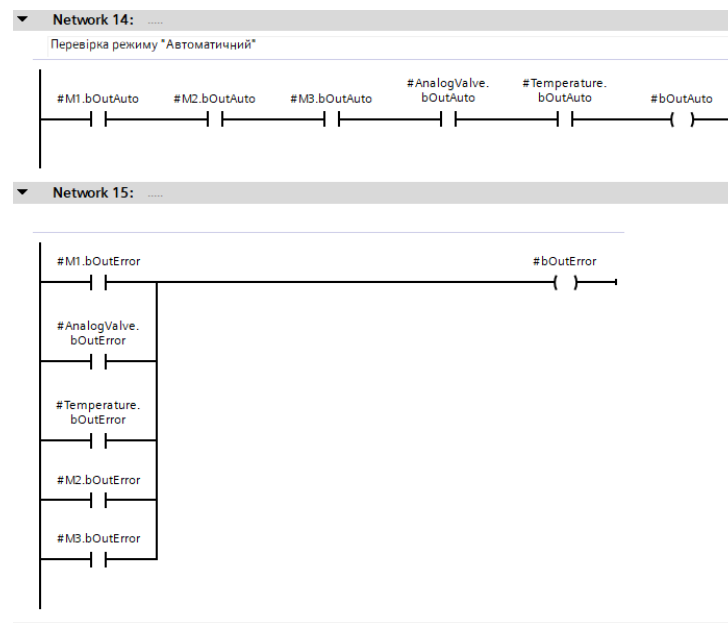


Рис. 6.10 Рис. 6.9 Фрагмент підпрограми fbProc

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

Спочатку створюється інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun, в якому вказуються змінні та їх типи (рис. 6.11).

А далі на мові LD пишуться строки цього блоку (рис. 6.12), які забезпечують почерговий запуск та зупинку електроприводів. Інтервали затримок встановлюються у відповідних таймерах типу TON, які відносяться до базових інструкцій мови, так само як і SR-тригери.

chai ▶ PLC_1 [CPU 1516-3 PN/DP] ▶ Program blocks ▶ Logic ▶ A

AutoRun

	Name	Data type	Default value
1	▼ Input		
2	■ binEnableStart	Bool	false
3	■ binNotError	Bool	false
4	▼ Output		
5	■ bOutAutoRunning	Bool	false
6	▼ InOut		
7	■ <Add new>		
8	▼ Static		
9	■ bAutoRun	Bool	false
10	■ bAutoStop	Bool	false
11	■ bM1_AR	Bool	false
12	■ bM2_AR	Bool	false
13	■ bM3_AR	Bool	false
14	■ bAnalogValve_AR	Bool	false
15	■ bTemperature_AR	Bool	false
16	■ ▶ Timer1	IEC_TIMER	
17	■ ▶ Timer2	IEC_TIMER	
18	■ ▶ Timer3	IEC_TIMER	
19	■ ▶ Timer4	IEC_TIMER	

Рис. 6.11 Інтерфейс функціонального блоку AutoRun

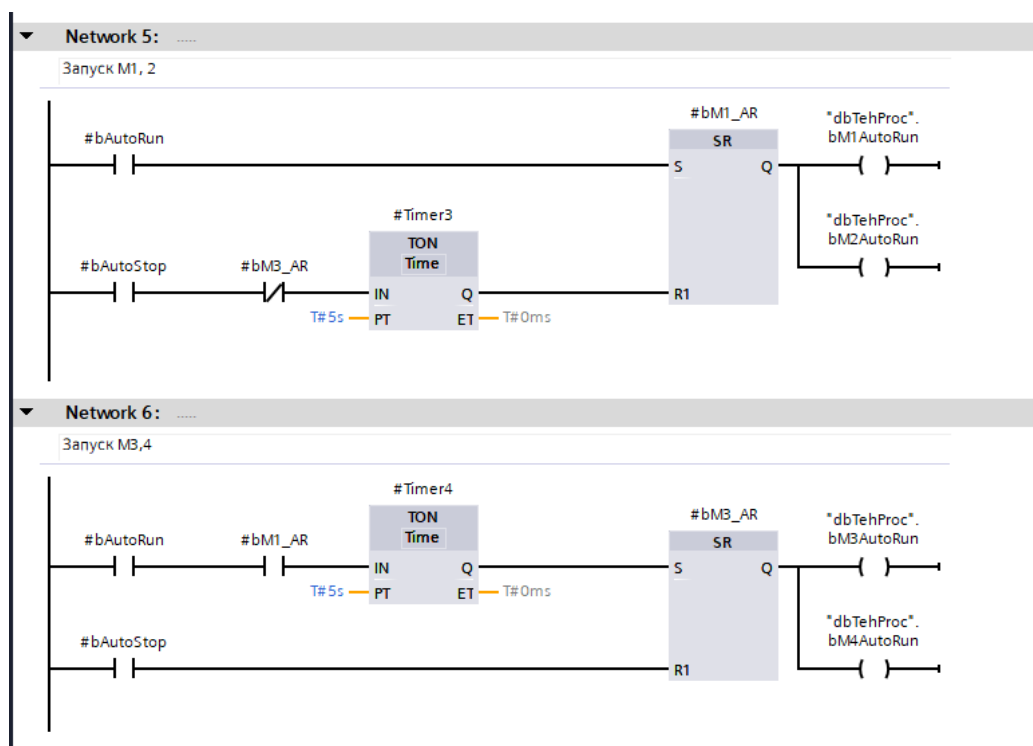


Рис. 6.12 Фрагмент підпрограми AutoRun

Завершують підпрограму строки із визначенням режиму роботи ПД-регулятора (рис.)

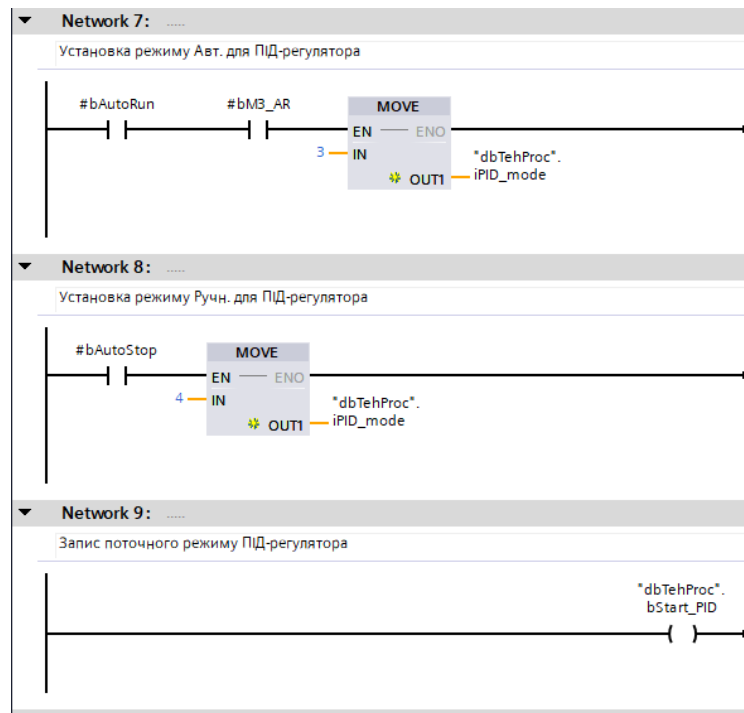


Рис. 6.13 Фрагмент підпрограми AutoRun

Виклик на виконання підпрограм fbProc та AutoRun здійснюється в підпрограмі Master (рис. 6.14), яка в свою чергу викликається на виконання в головній програмі Main (OB1).

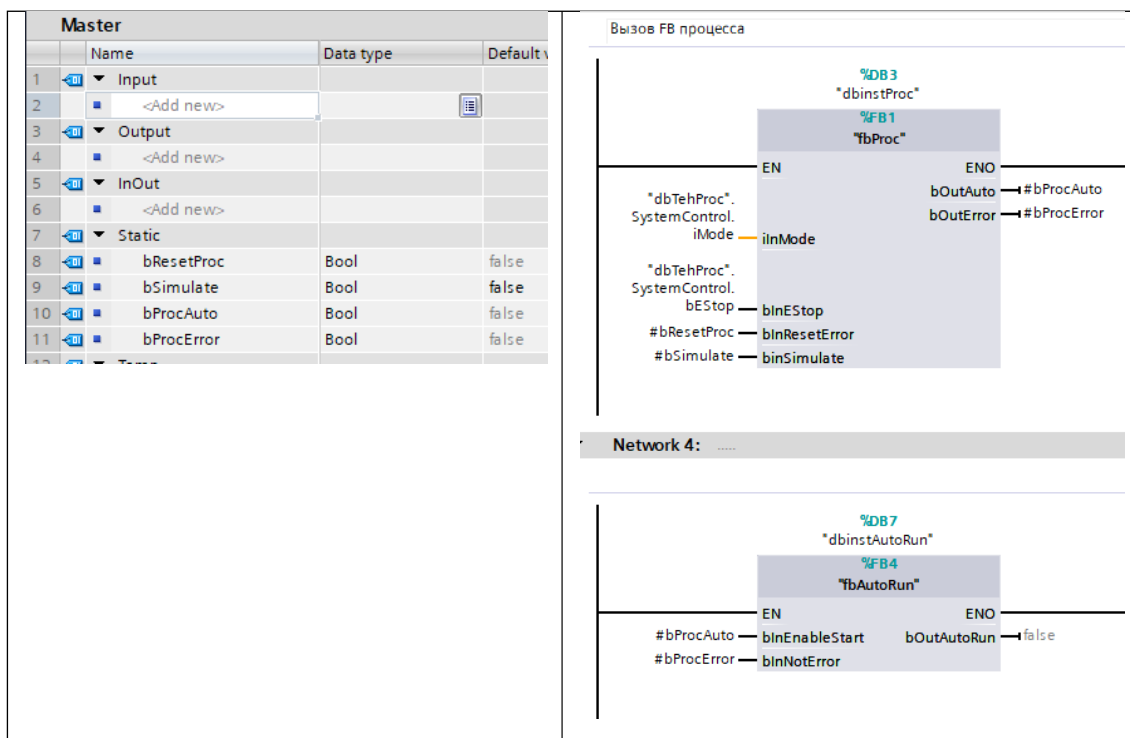


Рис. 6.14 Інтерфейс та текст підпрограми Master

6.6 Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі

ОК

Модель САР реалізована у функціональному блоці FB SAR, розрахунок якого виконується кожну 0.1 сек в організаційному блоці Cyclic interrupt (OB30). Необхідність використання саме організаційного блока OB30 зумовлена вимогою до точного визначення кроку квантування при розрахунках керуючого впливу.

Модель САР запрограмована з використанням функціональних блоків типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSim_Lagging і FB LSim_PT1), що формують модель ОК, і типового регулятора fbPID_Compact з бібліотеки Open Library. Інтерфейс підпрограми представлений на рис. 6.15, в якому вказані змінні підпрограми та їх типи.

fbSAR			
	Name	Data type	Default value
1	▼ Input		
2	■ <Add new>		
3	▼ Output		
4	■ <Add new>		
5	▼ InOut		
6	■ <Add new>		
7	▼ Static		
8	■ ► PID_reg	"fbPID_Compact"	
9	■ ► Zap	"LSim_Lagging"	
10	■ ► ApZveno	"LSim_PT1"	
11	■ ► ApZveno_1	"LSim_PT1"	
12	■ rChenel1	Real	0.0
13	■ rChenel2	Real	0.0
14	■ rChenel3	Real	0.0
15	■ uDelayCycles	UInt	46
16	▼ Temp		
17	■ bTemp	Bool	
18	■ iTemp	Int	
19	■ diTemp	DInt	
20	■ dwTemp	DWord	
21	■ rTemp	Real	

Рис. 6.15 Інтерфейс fbSAR

Перша строчка підпрограми fbSAR містить виклик функціонального блоку ПД-регулятора fbPID_Compact, до входів/виходів якого підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

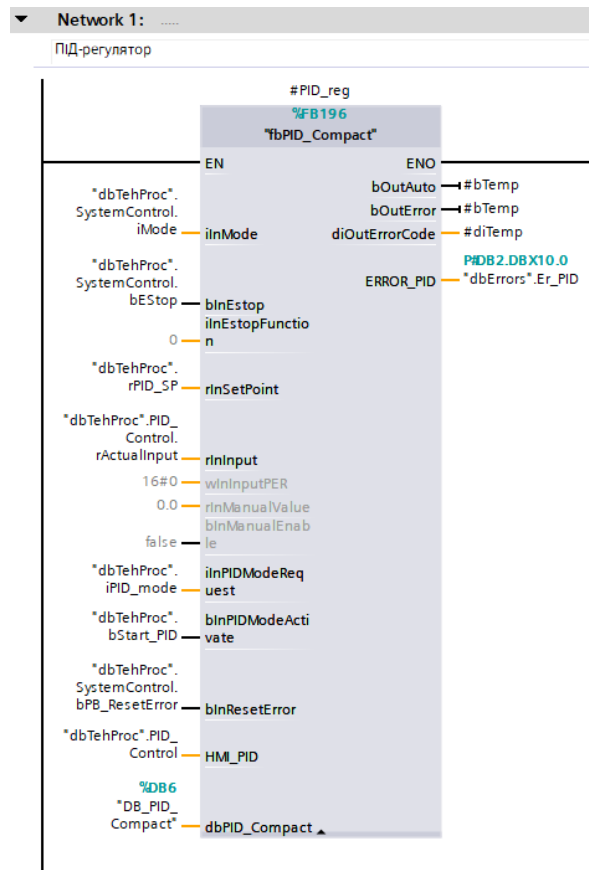
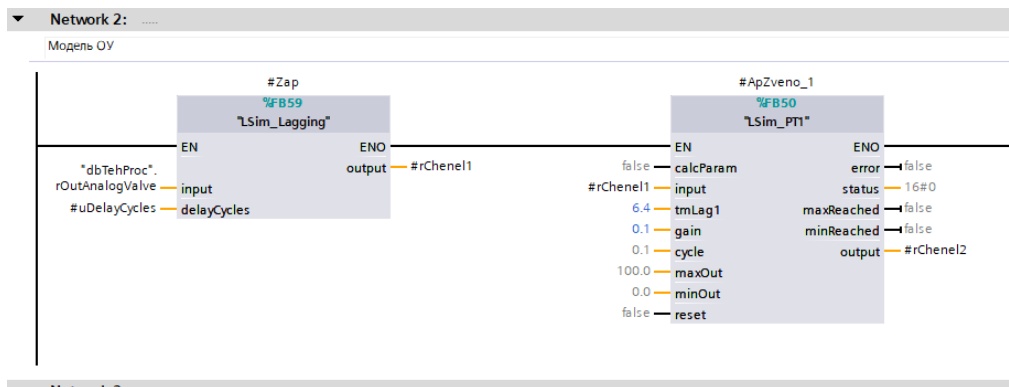


Рис. 6.16 – Фрагмент підпрограми fbSAR, що реалізує ПІД-регулятор

Вихідний сигнал ПІД-регулятора підключається до входу функціонального блоку аналогового клапану (див. рис. 6.9).

Далі за допомогою екземплярів типових ланок: запізнення LSim_Lagging та інерційної ланки першого порядку LSim_PT1, викликається на виконання модель ОК (рис. 6.17). Параметри моделі відповідають значенням, розрахованим в розділі 3.



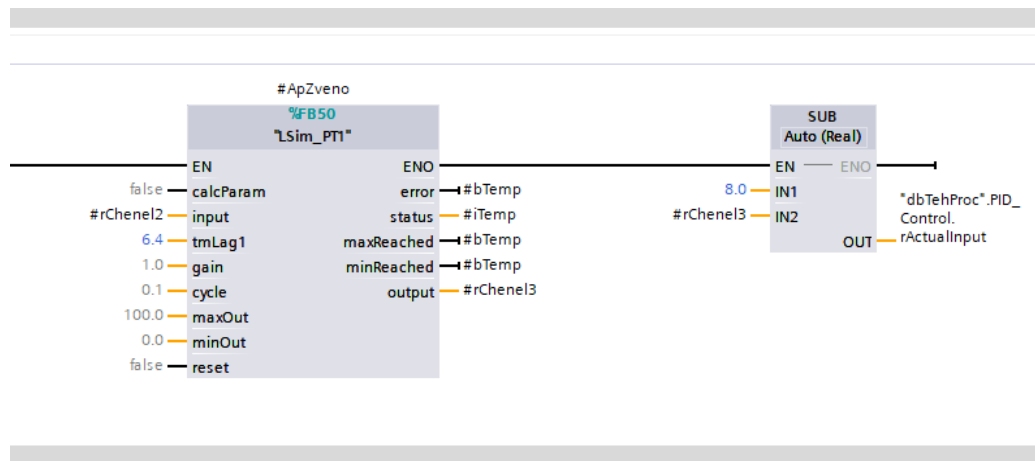


Рис. 6.17 Фрагмент підпрограми fbSAR, що реалізує модель ОК

Налаштування параметрів ПД-регулятора проводимо через його блок даних, що знаходяться в розділі Technology objects в дереві каталогу проекту.

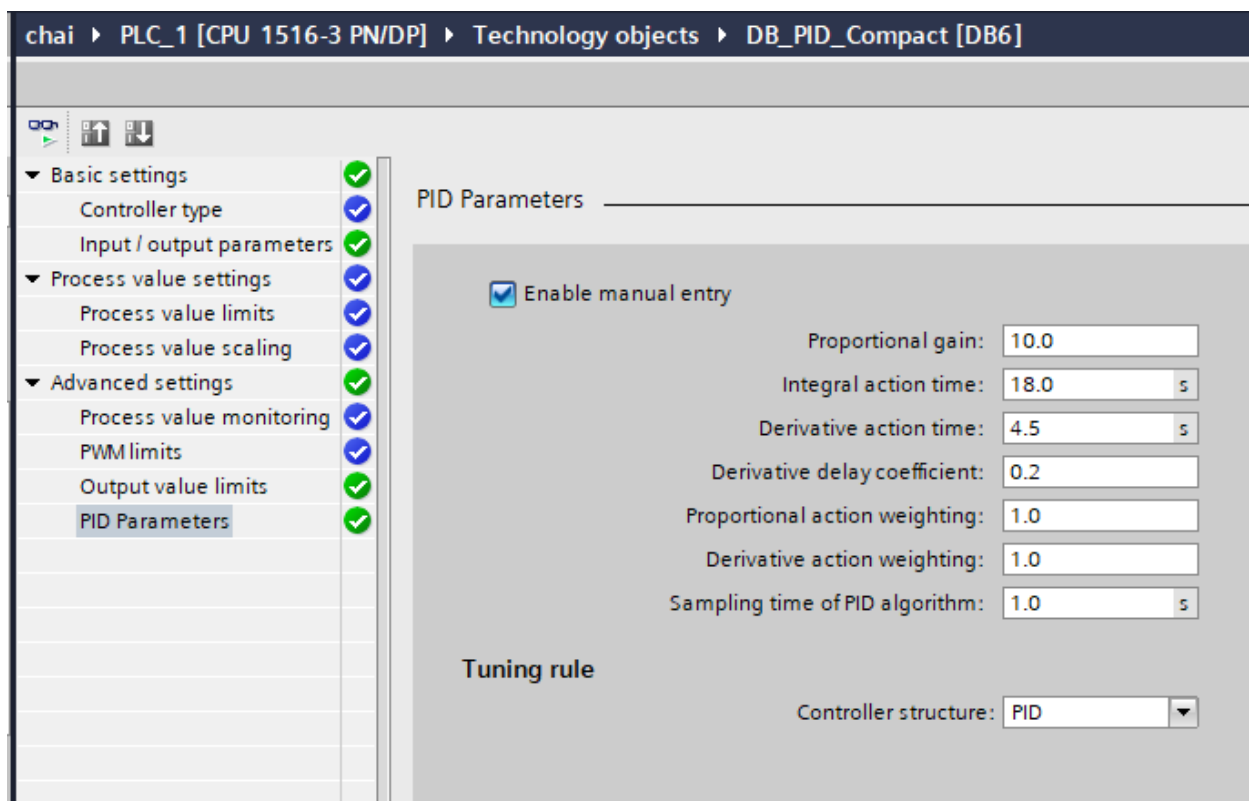


Рис. 6.18 Приклад налаштування параметрів ПД-регулятора

Тестування проекту проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM.

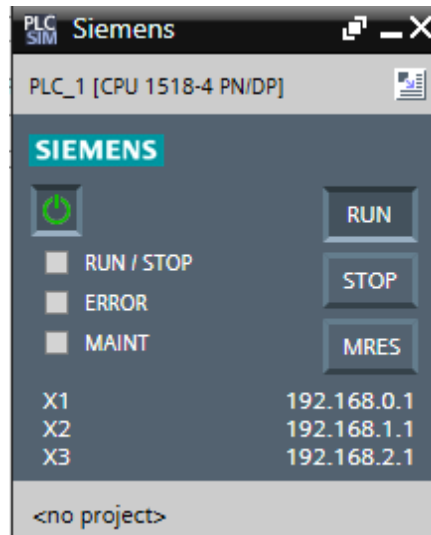


Рис. 6.19 Вигляд вікна програми PLCSIM

Результати тестування підтвердили правильність роботи програми, відповідно до вимог алгоритму керування. На рисунку 6.29 представлений загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.

Висновок

В результаті виконання даного розділу були вивчені основні характеристики контролерів фірми Siemens сімейства S7-1500 та принципи їх програмування.

Отримано навички використання документації виробника, правильного вибору необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500.

Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання.

РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК

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

Для організації зв'язку вибираємо тип сполучення «HMI connection» та встановлюємо унікальні адреси технічних засобів в мережі PROFINET.

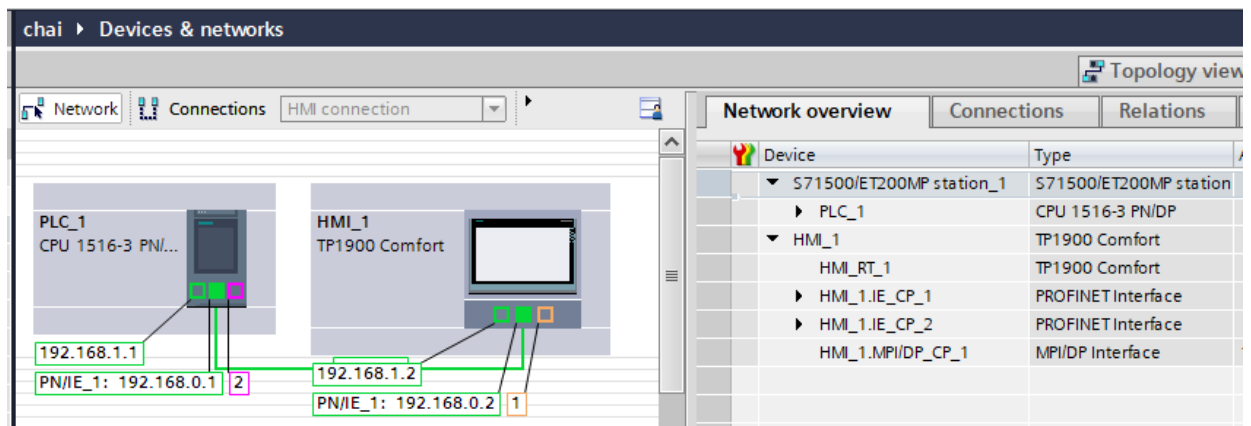


Рис. 7.1 Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

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

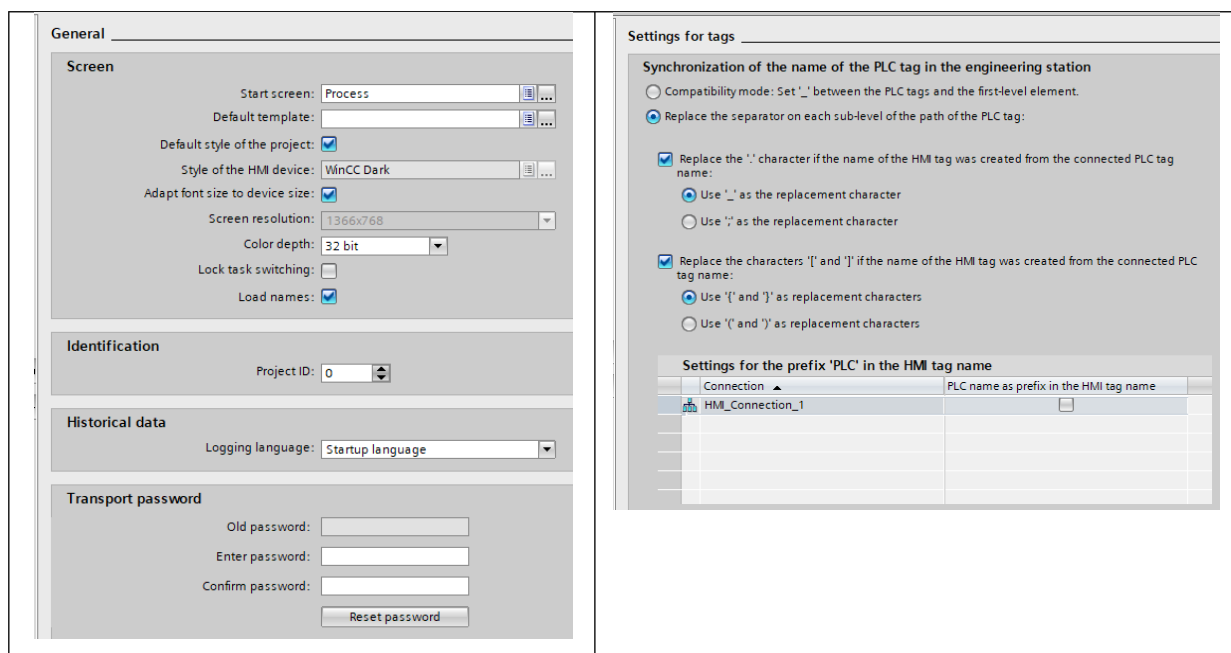


Рис. 7.2 Конфігурування TP 1900 Comfort

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

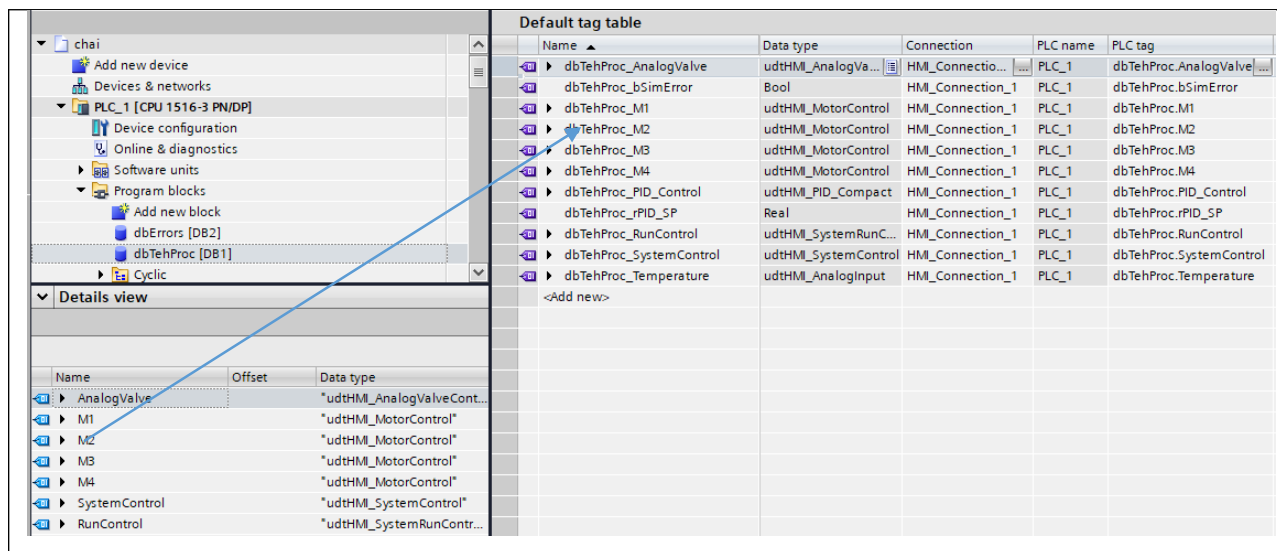


Рис. 7.3 Приклад створення таблиці НМІ-тегів

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

7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.

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

екран схеми установки для управління технологічним процесом;

екран для спостереження за регульованими змінними;

екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу технологічного агрегату.

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

екран схеми установки надає функції управління виконавчим механізмом та електродвигунами, як в автоматичному режимі, так і в ручному;

екран для спостереження за регульованими змінними надає можливість спостерігати за графіками в реальному часі, змінювати задане значення та налаштування регулятора;

екран для відтворення діагностичних повідомлень надає можливість бачити повідомлення про несправності, а також переглядати повідомлення, які зберігаються в архіві.

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.

Шаблон екранів.

Шаблон екранів Template_1 створюється в розділі Screen Management дерева каталогу проекту в розділі HMI. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону будуть присутні на всіх екранах, які входять в проект.

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

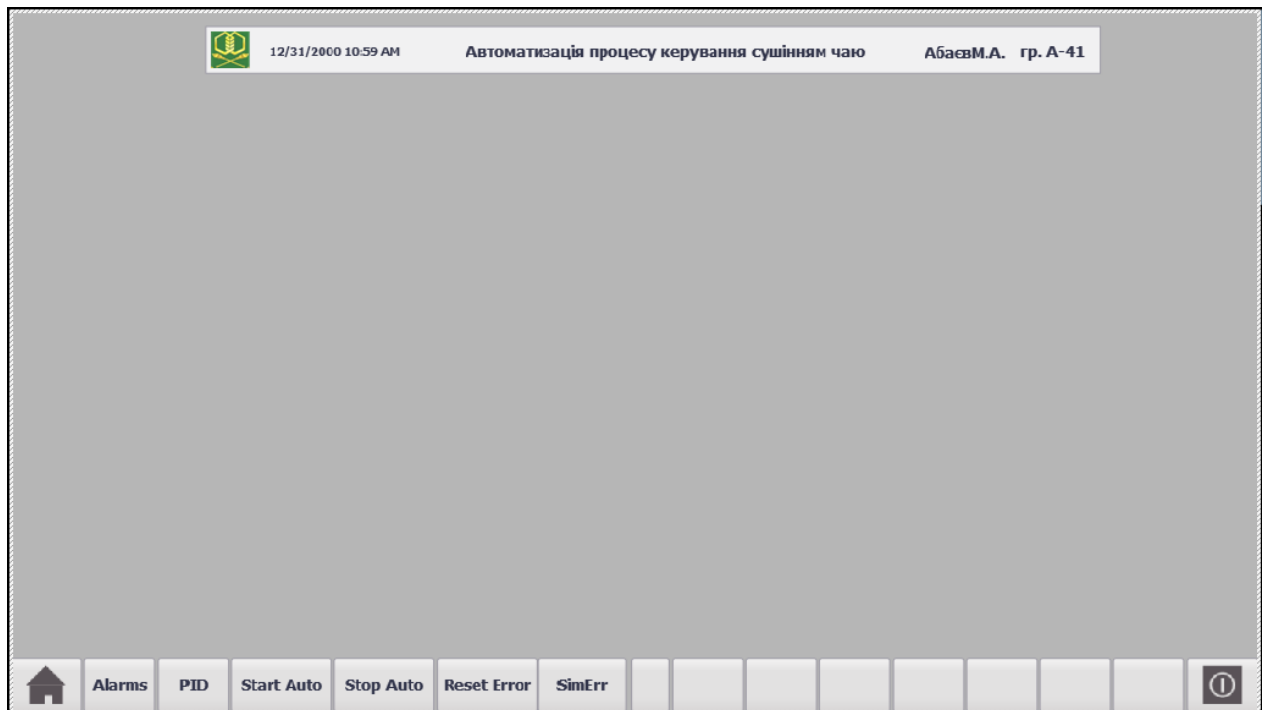


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів

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

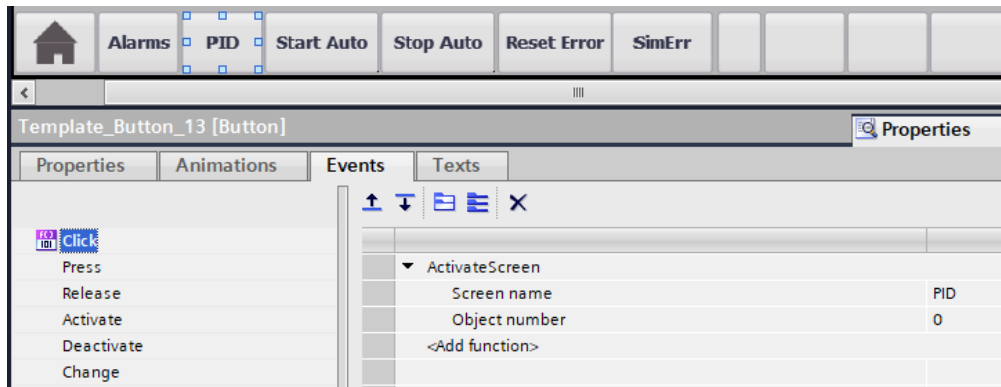


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для переми-
кання екранів графічного інтерфейсу

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

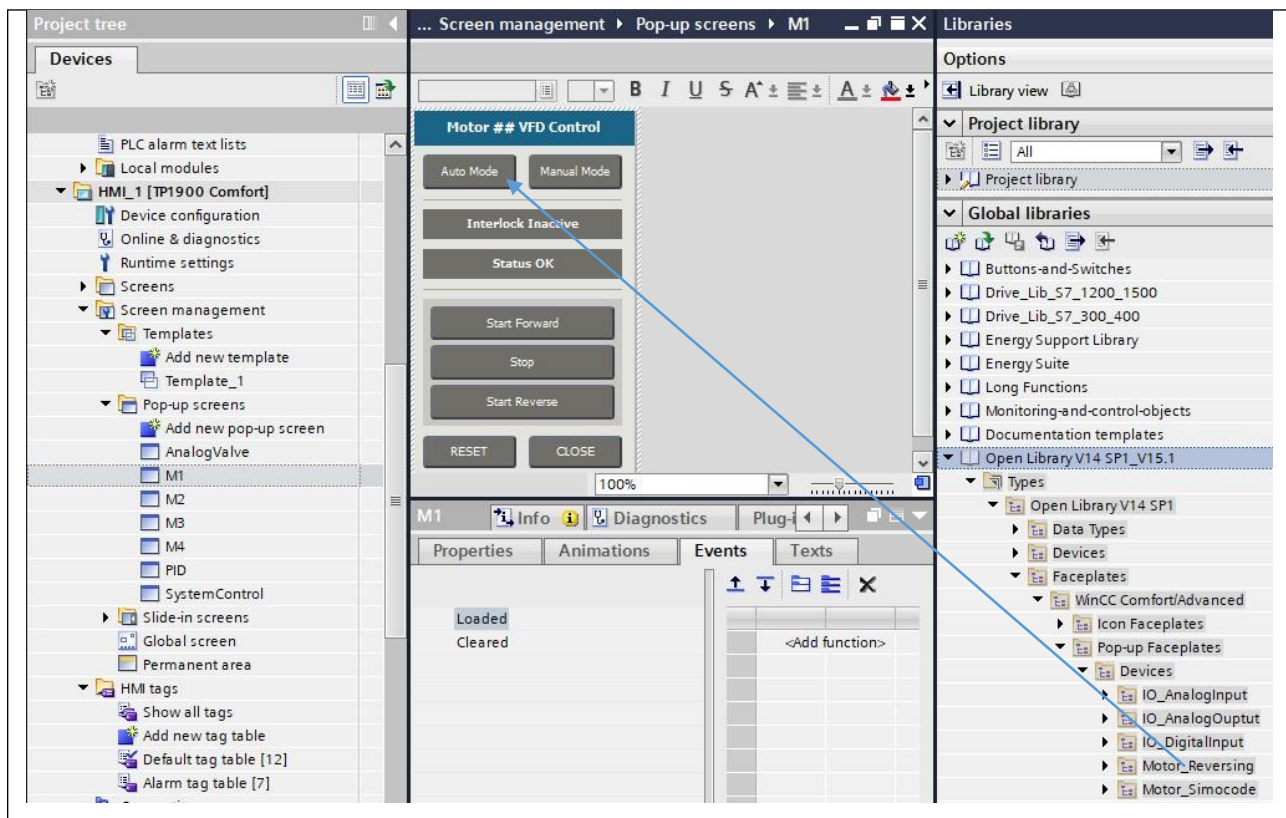


Рис. 7.6 Приклад створення спливаючих вікон для
керування електроприводом

У властивостях Properties кожного спливаючого вікна на вкладці Interface встановлюємо взаємозв'язок із тегом HMI, який буде забезпечувати динамізацію зо-

браження вікна та можливість керування оператором станом електроприводів та клапанів, а також на вкладці Events вказуємо системну команду ShowPopupScreen.

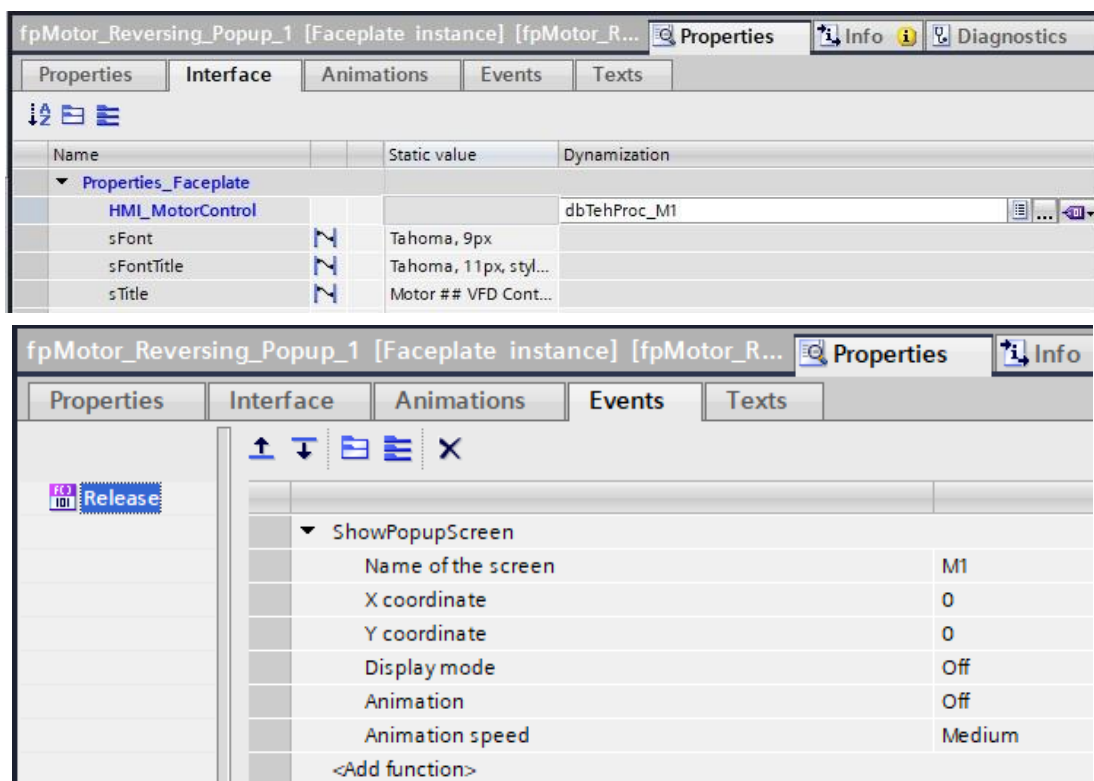


Рис. 7.7 Приклад визначення параметрів впливаючого вікна

Основний екран «Схема установки» містить схематичне зображення системи сушіння чаю з нанесеними на нього елементами відображення і управління. Зображення створено в графічному редакторі TIA Portal з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і управління дозволяють оператору контролювати стан обладнання системи і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням системи. Для цього на проекцію екрану переносимо за допомогою миші з відповідного розділу бібліотеки SOL піктограми обладнання.

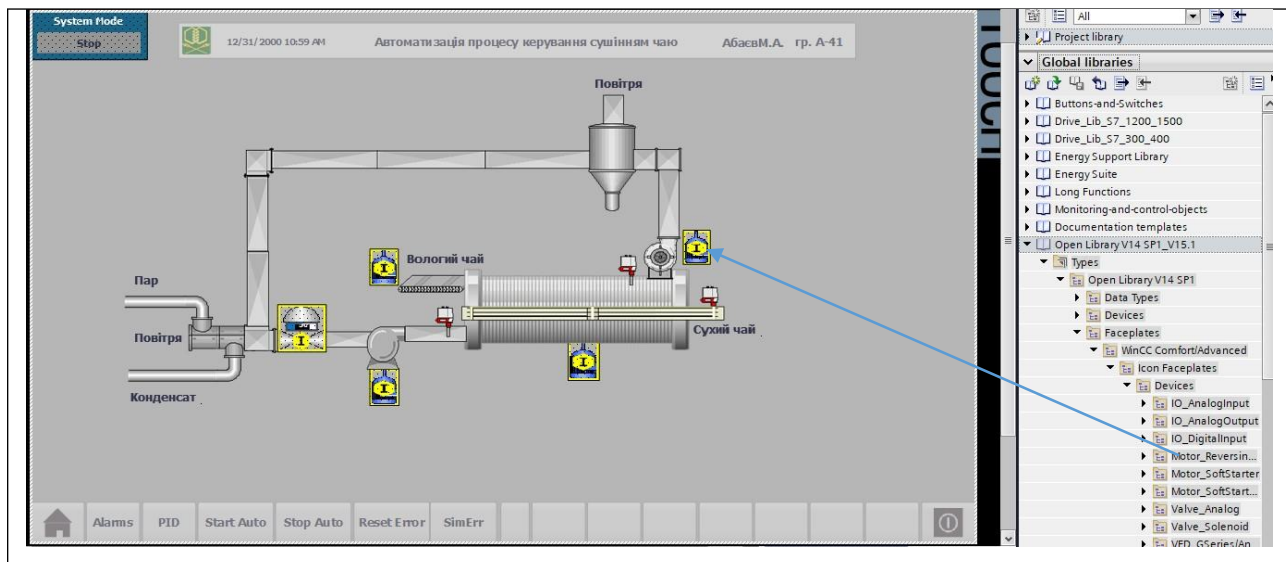


Рис. 7.8 Екран схеми установки

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

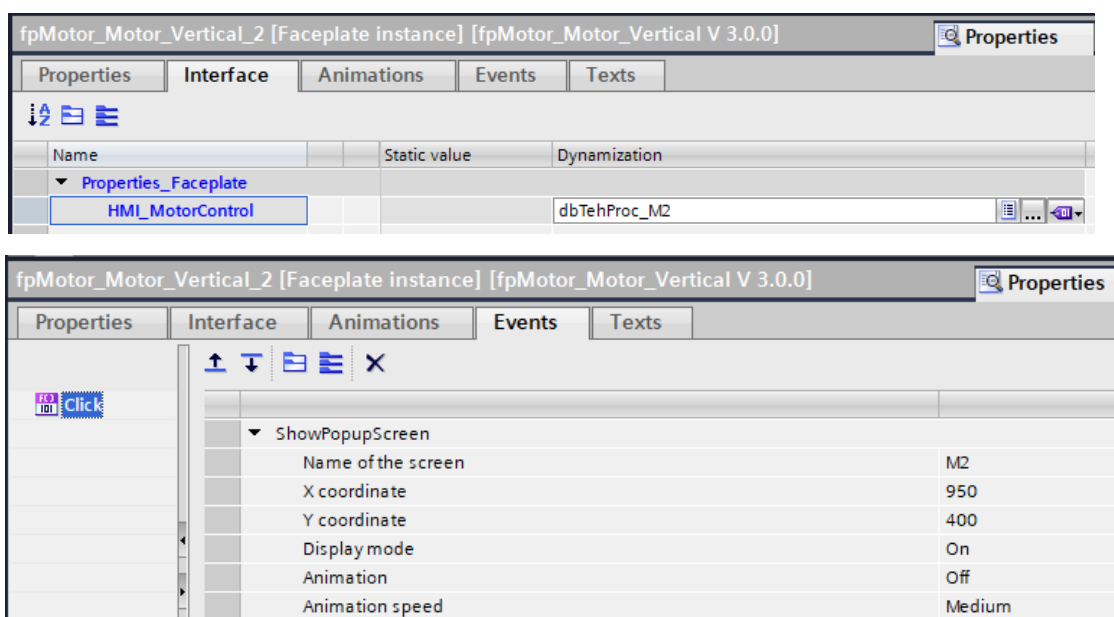


Рис. 7.9 Приклад налаштування піктограми електроприводу

Натискання на зображення піктограми забезпечить відкривання зображення відповідного спливаючого вікна конкретної одиниці обладнання, оскільки у властивості Events піктограми вписано виконання системної функції ShowPopupScreen.

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

Для побудови графіків зміни вологості чаю на виході із сушарки використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.11.

Виклик спливаючого вікна налаштування параметрів ПД-регулятора здійснюється натисканням кнопки Control parametrs на екрані.

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

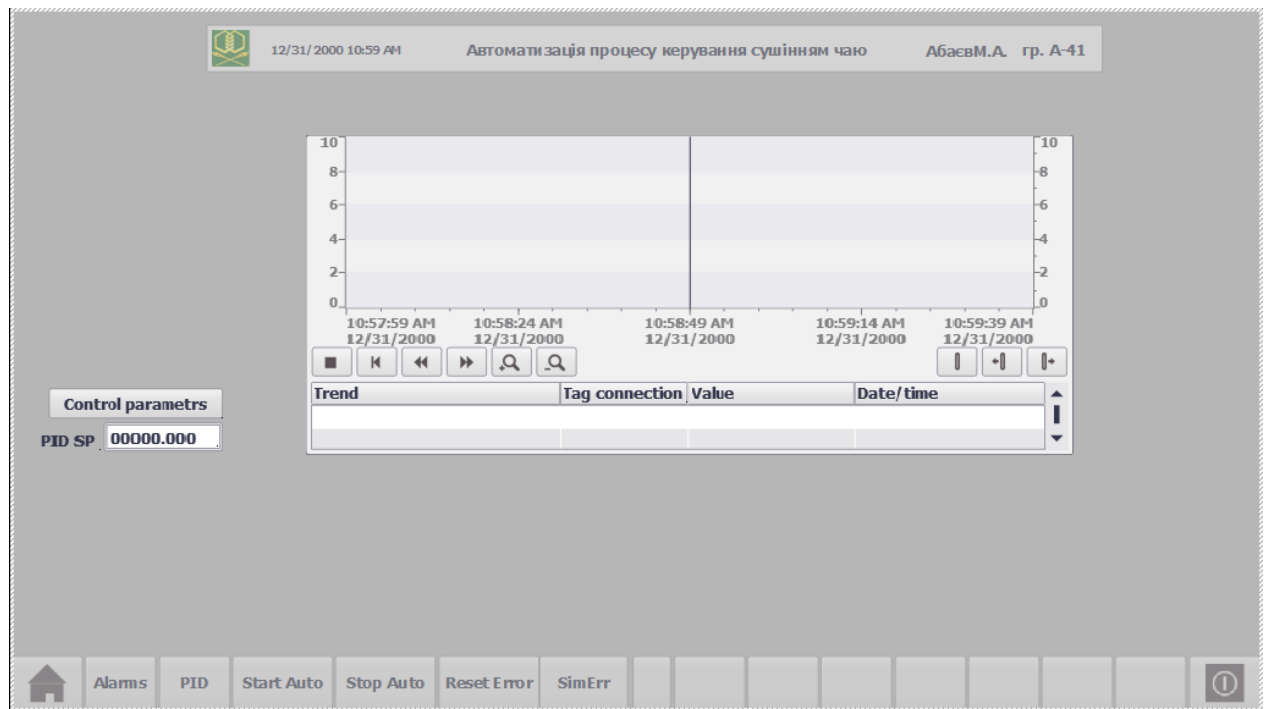


Рис. 7.10 Екран графіків

Налаштування цих елементів відображення показано на рис. 7.12.

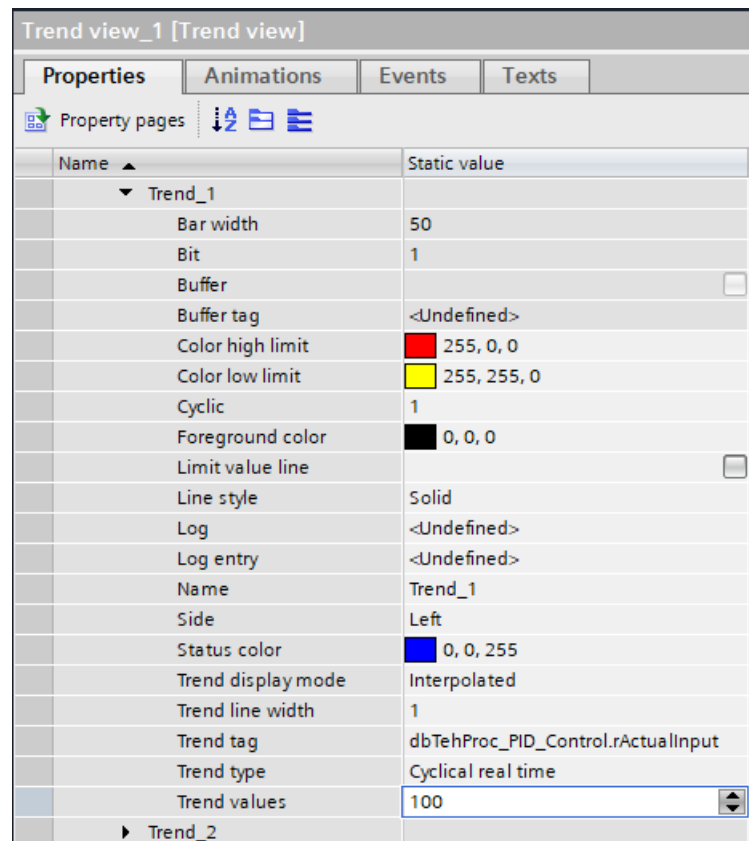


Рис. 7.11 Вікно налаштування елементу Trend

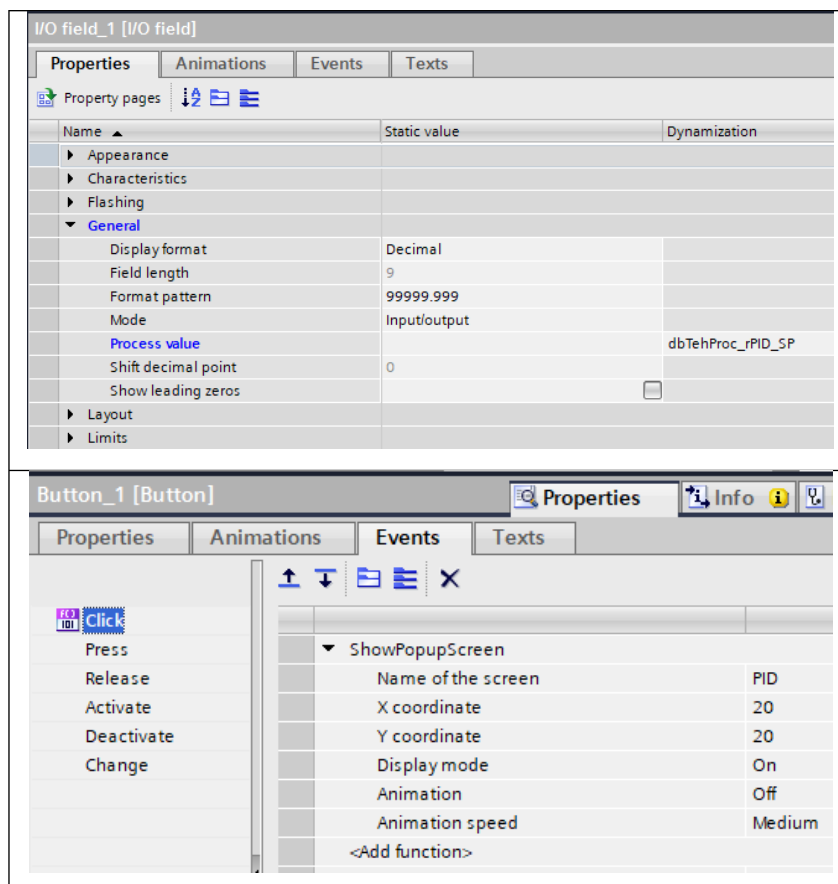


Рис. 7.12 Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і виникнення подій (Alarm) з обладнанням установки в проекті створена система повідомлень. Вона включає повідомлення від програми користувача і системні повідомлення ОС ПЛК. Повідомлення від програми, розділяються на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечні робочі стани та заносяться в архів.

В програмі користувача в ПЛК функціональні блоки, які обслуговують одиницю обладнання, формують інформацію про події в 16-бітному слові (тип Word). Кожному виду несправності відповідає певний біт. Ці слова потім збираються в програмі ПЛК в окремий блок даних dbErrors.

Далі теги з цього блоку даних пов'язуємо з 16-бітними тегами HMI.

The screenshot displays the SIMATIC Manager interface with the following components:

- Left Panel (Project Tree):** Shows the project structure for 'chai', including 'PLC_1 [CPU 1516-3 PN/DP]' and its associated data blocks: 'dbErrors [DB2]' and 'dbTehProc [DB1]'.
- Top Right Panel (Alarm tag table):** A table mapping PLC data to HMI tags.

Name	Data type	Connection	PLC name	Address
ErM1	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW2
ErM2	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW4
ErM3	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW6
ErM4	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW8
ErPID	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW10
ErTemper	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW12
ErValveAnalog	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW0
- Bottom Panel (HMI tag parameter):** Shows the configuration for 'chai > HMI_1 [TP1900 Comfort] > HMI alarms'. It includes tabs for 'Discrete alarms' and 'Analog alarms'. The 'Discrete alarms' table is expanded below.

ID	Name	Alarm text	Alarm class	Trigger tag	Trigger value
3	Discrete_alarm_3	InvalidFeedback	Errors	ErValveAnalog	8
4	Discrete_alarm_4	NoSignalForward	Errors	ErM1	11
5	Discrete_alarm_5	NoSignalReverse	Errors	ErM1	12
6	Discrete_alarm_6	LowLowAlarm	Errors	ErTemper	8
7	Discrete_alarm_7	HighHighAlarm	Errors	ErTemper	9
8	Discrete_alarm_8	InputPERInvalid	Errors	ErPID	9

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

Кожний біт HMI-тега з Alarm tag table сортуємо по типам та по класам Errors або Warnings (див. рис. 7.13). Кожному з цих бітів відповідає своє повідомлення (Alarm text).

Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран Alarms.

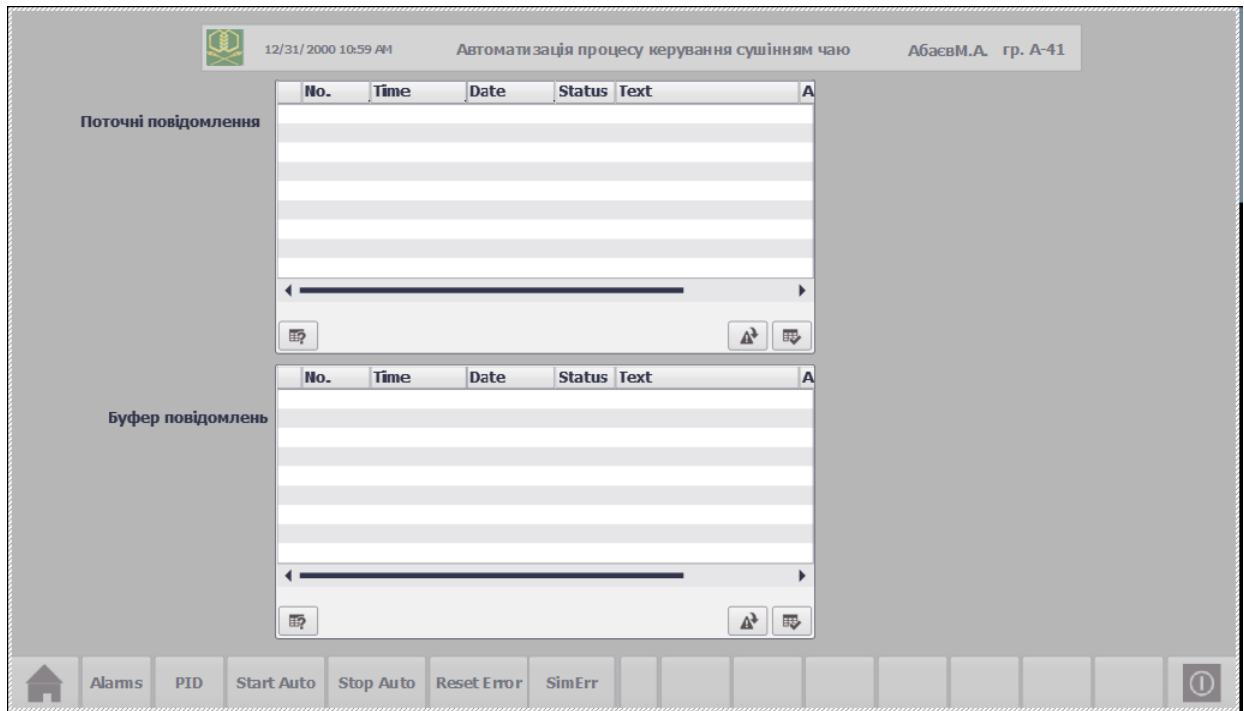


Рис. 7.14 Екран Alarms повідомлень про несправності

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

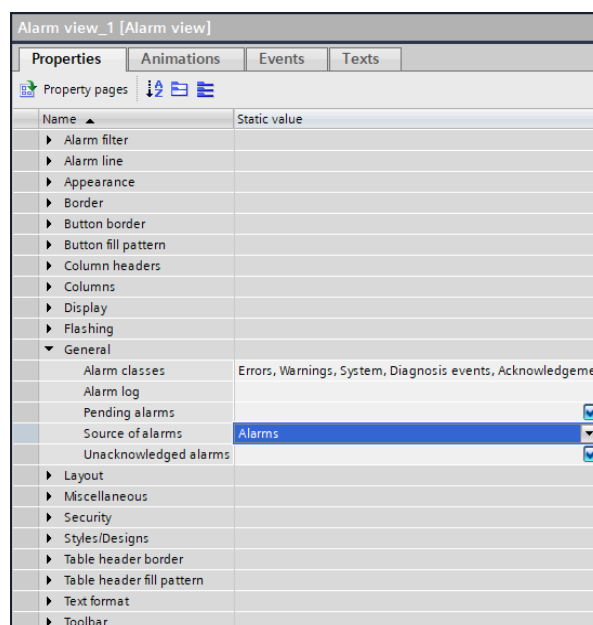


Рис. 7.15 Налаштування властивостей елемента Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.5 Тестування системи керування.

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

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

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

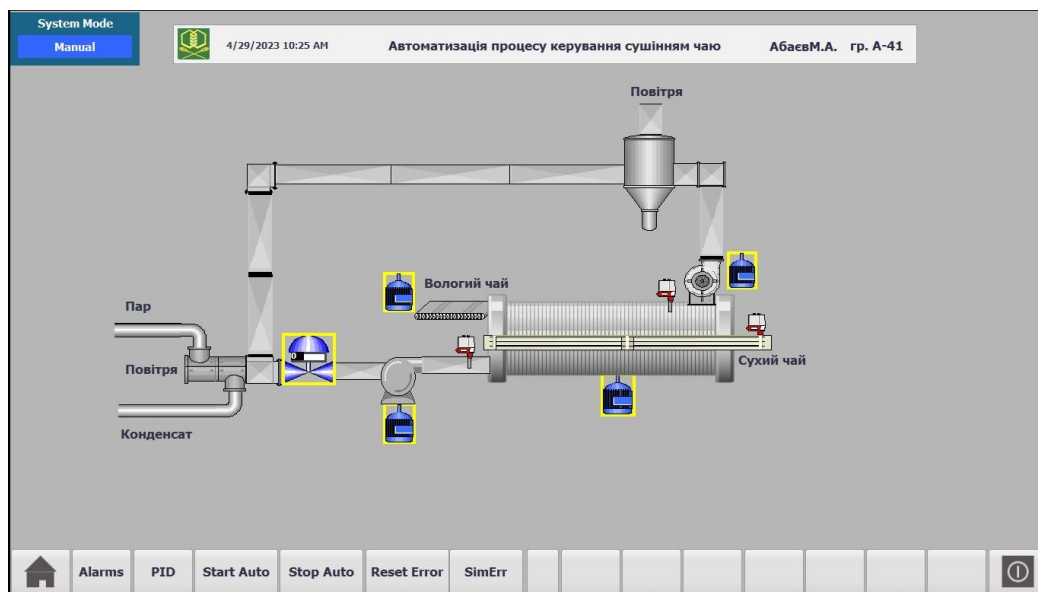


Рис. 7.16 Схема установки в ручному режимі



Рис. 7.17 Схема установки в автоматичному режимі

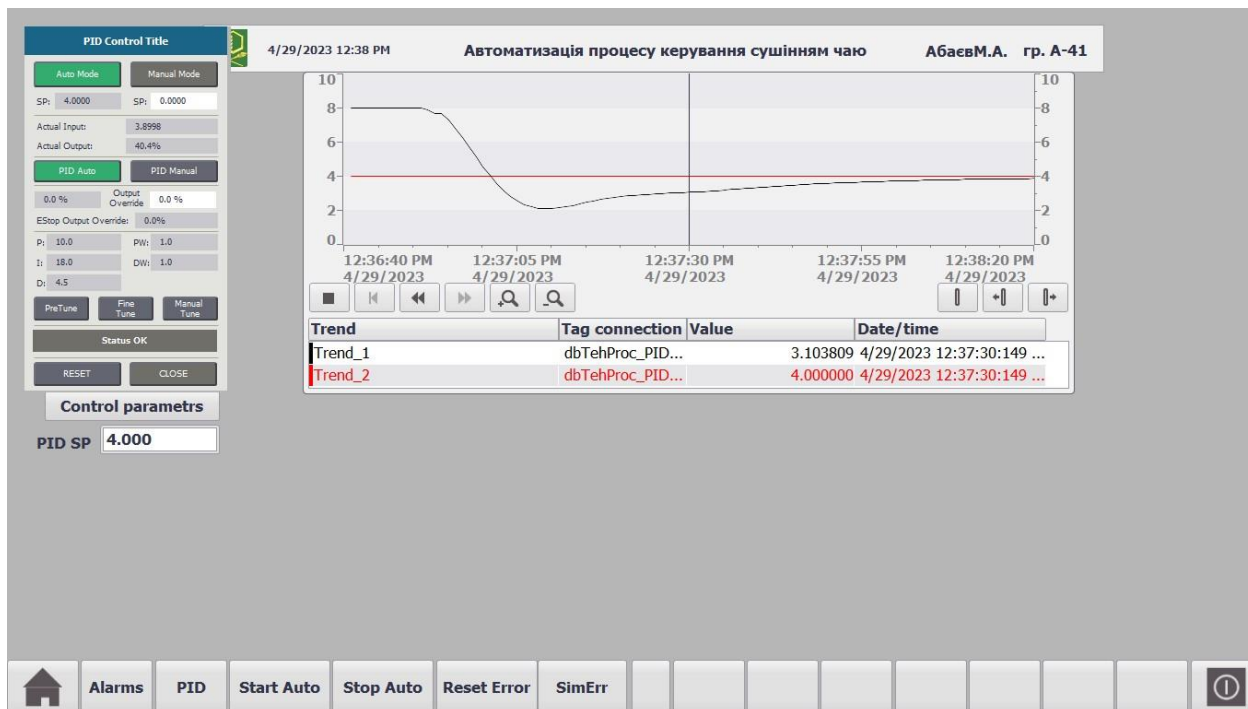


Рис. 7.18 Екран PID в тестовому режимі

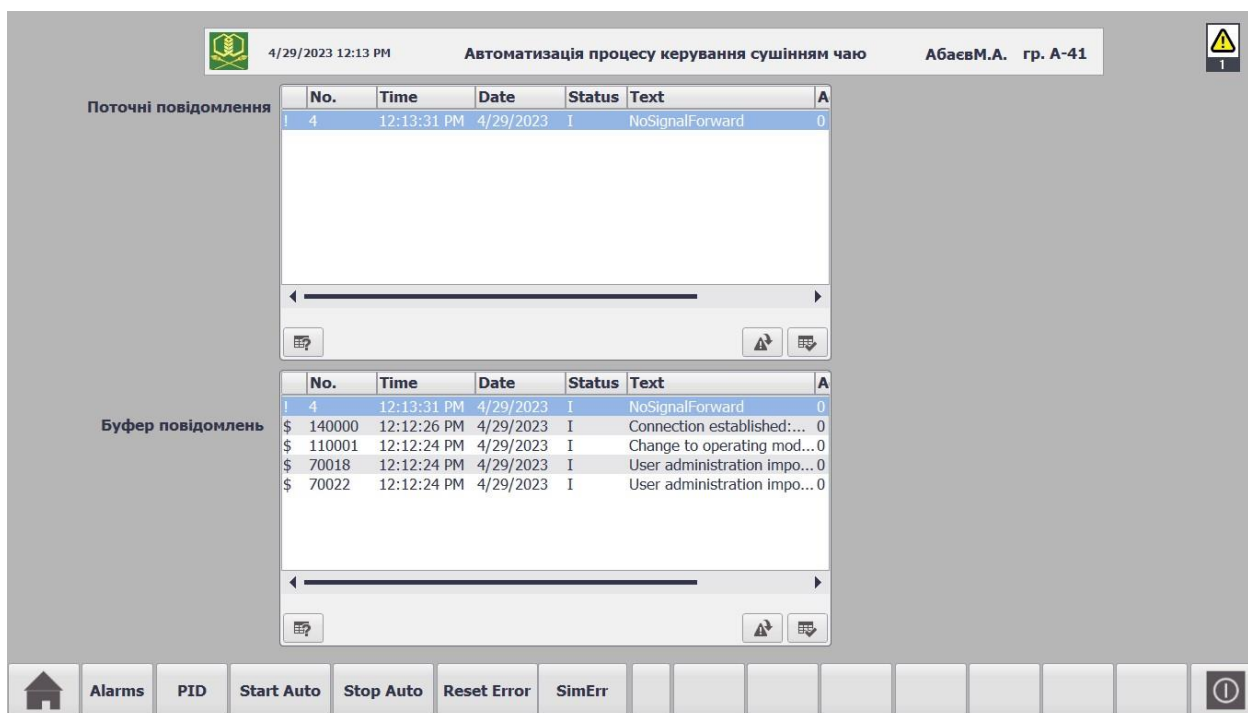


Рис. 7.18 ЕкранAlarms в тестовому режимі
при імітації несправності

Висновок: у цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом сушінням чаю сушарці. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.

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

РОЗДІЛ 8 РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень

Основними характеристиками процесу сушіння чаю є вологість чаю на виході із сушарки, а також температура повітря на вході і виході із сушарки. Підтримання вологості забезпечується за рахунок зміни витрат гарячого повітря в сушарку.

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

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему керування електроприводами;
- 3 – принципову електричну схему живлення;
- 4 – принципову електричну схему підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 5 – принципову електричну схему підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 6 – принципову електричну схему підключення до блоку аналогових входів/виходів ПЛК.

Текстові:

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

Елементи керування та живлення електроприводів встановлюються в силовій шафі на DIN-рейку 35 мм. Шафа оператора знаходиться у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площі шафи оператора встановлюють ПЛК та елементи живлення до нього, а на фасадній двері – панель оператора. Таке технічне рішення дозволяє зменшити вплив струмів, які протікають по силовим кабелям, на роботу ПЛК і панелі оператора.

Центральний процесор CPU 1516-3 PN / DP, що реалізує основні функції контролю та регулювання, оснащений інтерфейсами PROFINET та PROFIBUS.

Всі модулі вводу/виводу серії SIMATIC S7-1500 та CPU монтуються на профільній шині Siemens 122мм, як окрема конструкція в шафі оператора. Вони використовуються для отримання інформації з датчиків безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми для підтримки регламентних значень регульованих змінних, а також передачі даних на панель оператора. CPU та модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

- прийом і дешифрацію команд по мережам PROFINET, PROFIBUS;
- введення, фільтрацію й нормалізацію аналогових сигналів входу та виходу (струм, напруга – модуль AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0);
- опитування стану дискретних входів та вивід дискретних сигналів (DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) та DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0).

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

8.2 Розробка схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й що роз'ясняє певні процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до ДСТУ Б.А. 2.4-16:2008 «Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах». Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує ПЛК сумісно з панеллю оператора. Всі використані датчики входних сигналів обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20mA), вихідний аналоговий сигнал напруги 0...10 V DC.

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

- 1 – керування та контроль стану ЕД М1 вібратора;
- 2 – керування та контроль стану ЕД М2 вентилятора на вході в сушарку;
- 3 – керування та контроль стану ЕД М3 транспортера подачі вологого чаю;
- 4 – керування та контроль стану ЕД М4 вентилятора на виході із сушарки;
- 5 – контроль вологості чаю на виході із сушарки;
- 6 – керування положенням виконавчого механізму подачі гарячого повітря;
- 7 – контроль температури на вході в сушарку;
- 8 – контроль температури на виході із сушарки.

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

У контурах керування приводами (1, 2, 3, 4), які розміщені у силовій шафі, для кожного ланцюга керування встановлені ключі вибору режиму керування (місцевий або дистанційний), кнопки "ПУСК", "СТОП" із світлосигнальною арматурою (світлодіодом); по місцю встановлена кнопка аварійного відключення двигуна (кнопка "СТОП").

У контурах (5, 6) реалізована система регулювання вологістю чаю на виході із сушарки. Розглянемо дію контуру 5. Від датчика вологості з уніфікованим перетворювачем (5а) пропорційний вологості сигнал струму 4...20 мА DC подається на вхід модуля AI 4xU/I AQ 2x4xU/I AI (SM 334). ПЛК формує керуючий вплив, який з виходу цього модуля у вигляді напруги 0...10 V DC по контуру 6 подається на регулюючий клапан (6а).

Контури 7 і 8 подають сигнали струму 4...20 мА DC, пропорційні температурам повітря на вході і виході із сушарки, на аналогові входи модуля AI 4xU/I AQ 2x4xU/I AI (SM 334) ПЛК.

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

8.3 Розробка принципової електричної схеми контролю та керування електроприводом

На принциповій електричній схемі (ПЕС) показують 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. ПЕС складають 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 й керування електроприводом, є те, що вона будується як сполучена схема контролю, керування, сигналізації й підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера.

Для живлення електродвигуна в силову шафу на клеми XS0 подається трифазна напруга 400 V AC. Сполучними провідниками клеми під'єднані до автомату захисту двигуна Q1, який здійснює захист джерела живлення від короткого замикання та електродвигун від теплового перевантаження. Далі сполучними провідниками із Q1 з'єднані силові контакти контактора Q3, які в свою чергу сполучені із клемми XS0, від яких до двигуна через роз'єднувач OB-Q1 іде кабель W1.

Живлення 220 VAC шафи оператора здійснюється через кабель W4, який під'єднаний до клем XS0 в силовій шафі. Таке ж живлення через однофазний автоматичний вимикач Q2 та додатковий контакт Q1 подається в схему керування електроприводом. До аварійної кнопки S1, яка встановлена по місцю, живлення подається кабелем W3, що під'єднується до клем XS0.

Кнопкою Стоп S2 можна перервати струм в ланцюзі керування. Перемикач Місцевий-Дистанційний S3 також може перервати струм до кнопки Пуск S4 та по-

дати живлення до котушки контактора Q3 через контакт реле K3. Його котушка живиться напругою 24V DC від дискретного виходу контролера через кабель W5, який підключений до клем XS1 в силовій шафі.

Проміжні реле K1 і K2 своїми контактами подають сигнали 0/24V DC про стан кнопки Аварійний стоп та автоматичних вимикачів Q1, Q2 на дискретні входи контролера. Додаткові контакти S3, Q3 подають сигнали 0/24V DC про стан перемикача Місцевий-Дистанційний та контактора на модуль дискретних входів контролера. Всі ці сигнали передаються через кабель W5, який підключений до клем XS1 в силовій шафі.

У додатку Б наведені ПЕС контролю та керування електроприводом та перелік приладів та засобів, які використані в цій схемі.

8.4 Розробка принципової електричної схеми живлення контролера та панелі оператора

Елементи цієї схеми розміщені в шафі оператора. По кабелю W2 напруга живлення 220 V AC та захисне заземлення PE подається від силового щита до щита оператора на клеми X0. Від них сполучними провідниками живлення через двополосний автоматичний вимикач подається на первинну обмотку розподільчого трансформатора T1. З його вторинної обмотки напруга живлення 220 V AC через автоматичні вимикачі Q2, Q3 надходить до двох джерел живлення G1, G2, на виходах яких утворюється напруга 24 V DC. Джерело G1 призначене для живлення панелі оператора, а джерело G2 призначене для живлення модулів ПЛК. Трансформатор T1 забезпечує гальванічний розподіл та підвищує завадостійкість живлення відповідальних засобів.

У схемі для виконання ремонтних робіт встановлена розетка RECEPT1, яка підключена до живлення 220 V AC через диференційний автоматичний вимикач Q1, що забезпечує розмикання ланцюга при струмі більше 30 mA та при короткому замиканні.

У додатку В наведені ПЕС живлення та перелік приладів, що в ній використані.

8.5 Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК

Модуль дискретних входів DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) розміщується на профільній шині Siemens 122мм в шафі оператора. До його входів по кабелях W5, 6, 7, 8, що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування.

Модуль дискретних виходів DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) розміщується на профільній шині Siemens 122мм в шафі оператора. На його виходах формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелях W5, 6, 7, 8, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами. Також до виходу модуля дискретних виходів підключається дзвоник P1, який формує звуковий сигнал.

Модуль аналогових входів/виходів AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0) розміщується на профільній шині Siemens 122мм в шафі оператора. До його аналогових входів за допомогою екранованих кабелів W9, 10, 11, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики з уніфікованим виходом 4...20 mA DC відповідно: датчик температури гарячого повітря, датчик температури вологого повітря та датчик вологості чаю.

Аналоговий вихід цього датчика формує сигнал 0...10 V DC, який за допомогою кабелю W12, що підключається до клем SA-X1, передає сигнал керування на виконавчий механізм повітряної заслінки.

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

8.6 Охорона праці

В цьому підрозділі проідентифікуємо потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що можуть виникнути при експлуатації установки. Наведемо їх гра-

нично-допустимі концентрації з посиланням на нормативні акти, в яких вони встановленні, та зазначимо наслідки від їх впливу. Зведемо дані у таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
1.	Підвищена або знижена температура повітря робочої зони	21-24 °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

Таблиця 8.2 (продовження) – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
5.	Підвищений рівень шуму на робочому місці	80 дБА	Захворювання органів слуху
6.	Підвищений рівень вібрації на робочому місці	0,028 м/с x 10 ⁻² /75дБ (загальна вібрація); 2 м/с x 10 ⁻² /112 дБ (локальна вібрація)	Захворювання нервової системи

7.	Статичні перевантаження	-	Стан втоми
8.	Прямий і відбитий відблиск монітора	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
9.	Знижена контрастність	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
10.	Підвищений рівень електромагнітного 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

Таблиця 8.2 (закінчення) – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
12.	Канцерогенні, токсичні, мутагенні речовини (озон, оксид азоту, оксид вуглецю, толуол, ксилол, бензол, ізооктан тощо.)	Озон - 0,1 мг/м ³ ; оксид азоту – 5 мг/м ³ ; бензол – 15/5 мг/м ³ ; ксилол – 50 мг/м ³ ; толуол – 50 мг/м ³ ; оксид вуглецю – 20 мг/м ³ .	Біохімічні зміни в організмі
13.	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання

14.	Локальні перенавантаження м'язів кистей рук	-	Тунельний синдром
15.	Монотонність праці	-	Стан втоми, головний біль

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

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

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

- площа на одне робоче місце становить, 10,0 м², а об'єм - 25,0 м³;

норма: площа – 6,0 м², об'єм - 20,0 м³.

- інженер сидить за стандартним столом на м'якому кріслі;

- ЖК монітор відображає всю необхідну інформацію;

- трудові операції виконуються виключно на робочому місці;

- на робочому місці добре освітлення, вікно знаходиться з правого боку, на столі знаходиться світильник.

Визначимо категорію робіт за ступенем важкості. Оператор АРМ виконує роботу в положенні сидячі, що пов'язане з постійним спостереженням (таблиця 8.3).

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
№ п.п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
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 при- міщення	Вид освітлення	Найменший ро- змір об'єкта ро- зрізнення, мм	Розряд та підрозряд зорової ро- боти	КПО, %	Освітленість, лк
1	Операторський пункт	Бічне, одностороннє	0,30-0,5	Б-2	1	400

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

Пуск і експлуатація технологічного та енергетичного обладнання з несправними та відключеними КВПіА, системою технологічної захистів і пристроями необхідними для експлуатації обладнання в режимі ручного керування, забороняються. У процесі пуску і зупинки устаткування в режимі ручного керування необхідно стежити за проходженням відповідних операцій за показаннями контрольно-вимірювальних приладів. При порушенні встановленої послідовності, тривалості операцій і відхиленні параметрів від заданих слід негайно зупинити обладнання і повернути його в початковий стан.

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

Безпека обслуговуючого персоналу і сторонніх осіб повинна забезпечуватися шляхом застосування належної ізоляції, дотримання відповідних відстаней до стру-

моведаучих частин або шляхом їх закриття, огороження застосування блокування апаратів, заземлення або занулення корпусів електроустаткування і елементів електроустановок, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

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

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

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

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

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

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

Захисного заземлення підлягають металеві неструмоведучих частини електрообладнання, які внаслідок несправності можуть виявитися під напругою і до яких

можливий дотик людей. При цьому в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, а також в зовнішніх пристроях заземлення обов'язково при номінальній напрузі вище 36 В змінного струму і 110 В постійного струму. При напрузі 500 В і вище змінного і постійного струму заземлення обов'язково в усіх випадках, а у вибухонебезпечних приміщеннях захисне заземлення здійснюється при будь-яких напругах змінного і постійного струму.

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

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

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

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

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

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

У приміщеннях і на території підприємства, як правило, куріння дозволяється тільки в спеціально відведених для цього місцях. Забороняється застосування відкритого вогню (паяльні лампи, факели та ін.) для обігрівання трубопроводів із замерзлими або застиглими рідинами. Забороняється захаращувати підходи до технологічного устаткування, засобів зв'язку і пожежогасіння, а також проходи і виходи з приміщення.

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

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

Висновки за розділом:

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

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

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

9 РОЗДІЛ. ПОПЕРЕДНЄ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ РОБОТИ

9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації

В даному розділі буде обґрунтована економічна доцільність впровадження варіантів розробленої системи автоматизації. Вибір технічних засобів автоматизації та розробка технічної структури мікропроцесорного ядра САК (WAGO) були виконані у розділах №5 та №6. Для розрахунку економічних показників впровадження варіантів модернізованої АСК будуть враховані ціни на придбання комплексу технічних засобів, датчиків температури, реле рівня та тиску, виконавчих механізмів та кабельної продукції.

Таблиця. 9.1. Витрати на придбання засобів автоматизації

Найменування	Тип, марка	Кількість	Вартість з ПДВ, грн	
			За од.	Сума
Датчик вологості мікрохвильовий	Hydro-Mix ХТ	1	5550	5550
Виконавчий механізм	BELIMO LH24A- SR100	1	6744	6744
Датчик температури	ТЕРА (ТСП гр.100П)	2	6000	12000
Контролер програмований	SIMATIC S7-1500	1	3200	3200
Модуль дискретного вводу	DI 16x24VDC BA 6ES7 521-1BH10- 0AA0	1	17 200	17 200
Модуль дискретного вводу	DQ 16x24VDC/ 0.5A BA	1	15 600	15 600

	6ES7 522-1BH10-0AA0			
Модуль аналогового вводу виводу	DQ 16x24VDC/ 0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	15 600	15 600

Блоки живлення навантаження (PM) для програмованого контролера S7-1500 та станцій	ET 200MP PM 1507 190W, 6EP1 333-4BA00	2	3300	6600
Панель оператора	TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	210000	210 000
Дзвоник електричний	24 V DC	1	146	146
Аварійна грибовидна червона кнопка з фіксацією, 1NO + 1NC	Siemens: 3SU1100-1HB20-1FG0	1	570	570
Автоматичний вимикач захисту двигуна	SIEMENS SIRIUS 3RV2021-1KA10	1	1300	1300
Контактор	Siemens 3RT2017-1AP1-0CC0	1	1100	1100
Автоматичний вимикач Siemens 1-полюсний	B, 6kA (5SL6116-6)	1	180	180
Кнопка 22 мм, кругла, пластикова, червона, без фіксації	1H3 Siemens: 3SU1100-0AB20-1CA0	1	400	400
Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією	Siemens: 3SU1100-	1	898	898

	2BF60-1MA0			
Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем	Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	1	590	590
Проміжне реле	Schneider Electric Zelio 4CO	2	450	900
Проміжне реле	Schneider Electric Zelio Relay 4CO	1	270	270
Запобіжник	50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	40	40
Двополюсний модульний автоматичний вимикач	Сіменс 5SL6	1	670	670
Трансформатор	OCM-1 0,16 220 В/220 В	1	1620	1620
Дифавтомат	HAGER 25A, 30mA, В, тип С, 6КА	1	1950	1950
Автоматичний вимикач	Siemens 1-полюсний, 16А, тип В, 6kA (5SL6116-6)	2	181	181
Блок живлення	PM 1507, Вх. В/3А Siemens: 6EP1332-4BA00	2	2444	4888
Розетка на DIN-рейку	Hager SN016, 16А	2	320	640
Запобіжник	50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	2	40	80

Модуль дискретного вводу	DI 16x24VDC BA 6ES7 521-1BH10-0AA0	1	5100	5100
Модуль дискретного виводу	DQ BA 6ES7 522-1BH10-	1	15 605	15 605

	0AA0			
Запобіжник	50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	40	40
Дзвоник електричний	24 V DC	1	146	146
Модуль аналогового вводу виводу	DQ BA 6ES7 522-1BH10- 0AA0	2	10 925	21850
Датчик температури	TEPA (ТСП гр.100П)	2	900	1800
Датчик вологості мік- рохвильовий	Hydro-Mix XT	1	979	979
Виконавчий механізм	BELIMO LH24A-SR100	1	6744	6744
Всього				360 581

Сумарні капітальні інвестиції, які підприємство повинне буде вкласти для впровадження засобів автоматизації, дорівнює сумі витрат на придбання, монтаж і налагодження засобів автоматизації. Знайдемо суму первинних інвестицій для альтернативних варіантів реалізації системи керування за формулою:

$$IC_{CAK} = (C_{\text{прсак}} + C_{\text{прсак}} * K_m + C_{\text{прсак}} * H_t / 100 + C_{\text{прсак}} * H_{tr} / 100) + (C_{\text{прсак}} + C_{\text{прсак}} * H_t / 100 + C_{\text{прсак}} * H_{tr} / 100) * H_{zc} / 100 = C_{\text{прсак}} * 1,16513 \quad (9.1)$$

$C_{\text{прсак}}$ - оптова вартість засобів автоматизації з ПДВ, яка складає 360581 грн;

$K_m = 0,1$ – коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи;

$H_t = 0,25\%$ – норматив відрахувань на тару та упаковання;

$H_{tr} = 5\%$ – норматив відрахувань на транспортні витрати;

$H_{zc} = 1,2\%$ – норматив відрахувань на заготівельно-складські витрати

$$IC_{CAK} = (360581 + 360581 * 0,1 + 360581 * 0,25 / 100 + 360581 * 5 / 100) + (360581 + 360581 * 0,25 / 100 + 360581 * 5 / 100) * 1,2 / 100 = 360581 * 1,16513 = 420123,7 \text{ грн}$$

Модернізація системи автоматичного регулювання здійснюється за рахунок власних коштів підприємства.

9.2. Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості

В результаті модернізації процесу брак продукції не повинен перевищувати 0,5% ($K_{бр2}$) (брак продукції до модернізації 5% ($K_{бр1}$)).

Ціна за 1т продукції – 200000 грн ($\Pi_{од.пр}$). Продуктивність гранулятора-сушарки – 3 т/діб (П). Час роботи – 351 діб в рік (Т).

1) Визначаємо обсяг виробництва:

$$OB_{рік} = \Pi * T = 3 * 351 = 1053 \text{ т/рік} \quad (9.2)$$

2) Визначимо кількість браку до і після модернізації:

$$Br_1 = OB_{рік} * K_{бр1} = 1053 * 0,05 = 52,65 \text{ т} \quad (9.3)$$

$$Br_2 = OB_{рік} * K_{бр2} = 1053 * 0,005 = 5,26 \text{ т} \quad (9.4)$$

3) Визначимо обсяг реалізованої продукції до і після модернізації:

$$OP1 = (OB_{рік} - Br_1) * \Pi_{од.пр} = (1053 - 52,65) * 200000 = 200070000 \text{ грн} \quad (9.5)$$

$$OP2 = (OB_{рік} - Br_2) * \Pi_{од.пр} = (1053 - 5,26) * 200000 = 209548000 \text{ грн} \quad (9.6)$$

4) Визначимо заміну амортизаційних відрахувань за рахунок модернізації САР:

$$\Delta A = IC_{САК} * H_a = 360581 * 0,5 = 180290,5 \text{ грн} \quad (9.7)$$

$H_a = 50\%$ – норма річних амортизаційних відрахувань для засобів автоматизації

автоматизації

5) Визначимо річну зміну повної собівартості продукції за рахунок модернізації САР:

$$\Delta C_{\Pi} = \Delta A = 180290,5 \text{ грн} \quad (9.8)$$

6) Визначимо приріст прибутку підприємства за рахунок впровадження САР:

$$\Delta \Pi = (Br_1 - Br_2) * \Pi_{од.пр} - \Delta A = (52,65 - 5,26) * 200000 - 180290 = 9277710 \text{ грн} \quad (9.9)$$

7) Визначимо приріст чистого прибутку:

$$\Delta \text{ЧП} = (\Delta \Pi - \Delta A) * (1 - \Pi_{\Pi}) = (9277710 - 180290,5) * 0,82 = 7459883,99 \text{ грн} \quad (9.10)$$

$\Pi_{\Pi} = 18\%$ – податок на прибуток

8) Визначимо приріст чистого грошового потоку:

$$\text{ЧГП} = \Delta\text{ЧП} + \Delta\text{А} = 7459883 + 180290,5 = 7640173,5 \text{ грн} \quad (9.11)$$

Висновок: розрахунок інвестиційних витрат, який підтвердив економічну доцільність модернізації системи автоматизації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання курсової роботи було встановлено, що якісна реалізація технологічного процесу сушки чаю в сушарці залежить від точності підтримки залишкової вологості на виході з сушарки.

Технологічний процес сушки чаю в сушарці як об'єкт керування має статичні властивості по каналу керування. Ідентифікація моделей каналів ОК, доступних для цілеспрямованої дії, проводилася методом активного експерименту з нанесенням на вхід каналу 10%-ї ступінчастої дії, для параметричної ідентифікації моделей каналу управління застосовувалися методики двох загальних точок для моделей першого і другого порядку. Статистичними методами була отримана модель стохастичної складової неконтрольованих збурень.

Відтворення отриманих моделей у середовищі імітаційного моделювання здійснювалося в програмі SIMULINK/MATLAB.

Була побудована САР базової структури за принципом замкнутого керування. В процесі розробки САР в якості альтернативних регуляторів використовувались ПІ і ПІД-регулятори.

При порівнянні прямих, інтегральних та статистичних показників якості можемо зробити висновок, що САР з ПІД-регулятором дає їх кращі значення.

При перевірці САР на грубість було помічено, що САР з ПІ- і ПІД-регулятором грубі до варіації параметрів ОК. При збільшенні запізнення в ОК показники якості функціонування САР погіршуються.

За рахунок створення додаткового каналу впливу на систему керування вдалося частково компенсувати вплив запізнення на динаміку власного руху системи. Система підвищеної динамічної точності має кращі показники, ніж система базової структури, і тому може бути рекомендована до впровадження.

Для даного технологічного процесу були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки системи нанесення оболонки на пігулки в штатному та аварійному режимах.

Під час роботи я навчився розробляти та проектувати робото технічні комплекси. Розробив РТК пакування дой-паків для виробництва за допомогою креслення, розробки 3Д-світу.

Був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом сушіння чаю. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу.

Були вивчені основні характеристики контролерів фірми Siemens сімейства S7-1500 та принципи їх програмування.

Отримано навички використання документації виробника, правильного вибору необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500.

Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання.

Розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом сушінням чаю сушарці.

Було розроблено варіант комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1500.

Розрахунок інвестиційних витрат, який підтвердив економічну доцільність модернізації системи автоматизації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ковальчук Д. А. Енергоефективне автоматичне керування утилізацією тепла продуктів згоряння газових котелень в умовах застосування парокомпресійних теплових насосів. – Київ: НУБіП, 2021. – 181 с.
2. Остроумов Л. А., Садова Т. Н., Єрмолаєв В. А. Форми зв'язку вологи у сирах з пліснявою. – Красноярськ: КрасГАУ, 2011. – 5 с.
3. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування» частина 1, для студентів спеціальності 7.092501 денної та заочної форм навчання. - Одеса: ОНАХТ, 2007. - 112 с.
4. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування» частина 2, для студентів спеціальності 7.092501 денної та заочної форм навчання. - Одеса: ОНАХТ, 2007. - 87 с.
5. Навчальний посібник до виконання курсової роботи з курсу «Теорія автоматичного керування» для бакалаврів 6.050202 денної та заочної форм навчання / Укладачі: В.А. Хобін , І.М.Світій - Одеса: ОНАХТ, 2020 р. – 110 с.
6. Скаковський Ю.М. Методичні вказівки до виконання індивідуальної самостійної роботи за дисципліною "Автоматизація технологічних процесів та виробництв" для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання / Ю.М. Скаковський – Одеса: ОНАХТ, 2019, – 33 с. (електр. версія).
7. Конспект лекцій з курсу “Проектування систем автоматизації (Ч.1)” для бакалаврів 6.050202 всіх форм навчання / Укладач Ю. М. Скаковський. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – 76 с.
8. Конспект лекцій з курсу “Проектування систем автоматизації (Ч.2)” для бакалаврів 6.050202 всіх форм навчання/ Укладач Ю. М. Скаковський. – Одеса: ОНАХТ, 2017. – 116 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації

Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. поз-нач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
5а	Датчик вологості мікрохвильовий Hydro-Mix ХТ, живл. 24 В, 0,8 Вт, вих. сигнал 4-20мА DC	1	
6а	Виконавчий механізм BELIMO LH24A-SR100, зусилля 150 Н, час повного ходу 150 с	1	
7а, 8а	Датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П), діапазон 50 -150 °С з нормуючим перетворювачем ПСТ (0/150) -100П, діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 мА, Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт	2	
	<u>Прилади у шафі оператора</u>		
ПЛК	Контролер програмований SIMATIC S7-1500, CPU 1516-3 PN/DP (6ES7516-3AN01-0AB0)	1	
	Модуль дискретного вводу DI 16x24VDC BA 6ES7 521-1BH10-0AA0	1	16 DI
	Модуль дискретного виводу DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	16DO
	Модуль аналогового вводу виводу DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA0		4 AI/2AQ
	Блоки живлення навантаження (PM) для програмованого контролера S7-1500 та станцій ET 200MP PM 1507 190W, 6EP1 333-4BA00	2	
ПК	Панель оператора TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	
P2	Дзвоник електричний, живл. 24 V DC	1	

ДОДАТОК Б Документація до принципової електричної схеми контролю та керування електроприводом

Таблиця Б – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми контролю та керування електроприводом

Поз. поз-нач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
S1	Аварійна грибовидна червона кнопка з фіксацією, 1NO + 1NC Siemens: 3SU1100-1HB20-1FG0	1	
	<u>Прилади у силовому щиті</u>		
Q1	Автоматичний вимикач захисту двигуна SIEMENS SIRIUS 3RV2021-1KA10, діапазон регульованої теплової уставки 9.0 ... 12.5 А, номінальна потужність 5.5 кВт/ 400В	1	
Q3	Контактор Siemens 3RT2017-1AP1-0CC0, для комутації електродвигунів, 3-полюсний, АС-3, потужність двигуна 5,5кВт/400В, Іном. 12 А	1	
Q2	Автоматичний вимикач Siemens 1-полюсний, 16А, тип В, 6кА (5SL6116-6)	1	
S2	Кнопка 22 мм, кругла, пластикова, червона, без фіксації, 1НЗ Siemens: 3SU1100-0AB20-1CA0	1	
S3	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	1	
S4	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	1	
K1, K2	Проміжне реле Schneider Electric Zelio 4CO, 230В, АС, 6А, LED (RXM4AB2P7PVS)	2	
K3	Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24В DC, 6А, LED (RXM4AB2BDPVS)	1	
F1	Запобіжник 50F, 1А, 5x20мм K206: 10921	1	

ДОДАТОК В Документація до принципової електричної схеми живлення

Таблиця В – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми живлення

Поз. поз-нач.	Найменування	К-ть	Прим.
Q1	Двополюсний модульний автоматичний вимикач Сіменс 5SL6 з вимикаючою здатністю 6.0 кА, робоча напруга 400 В АС, номінальний струм 20.0 А, крива спрацювання тип С	1	
T1	Трансформатор ОСМ-1 0,16 220 В/220 В	1	
Q1	Дифавтомат HAGER 25А, 30mA, В, тип С, 6КА	1	
Q2, Q3	Автоматичний вимикач Siemens 1-полюсний, 16А, тип В, 6kA (5SL6116-6)	2	
G1, G2	Блок живлення РМ 1507, Вх. ~ 120/230 В, Вих. = 24 В/3А Siemens: 6EP1332-4BA00	2	
РЕСЕРТ1	Розетка на DIN-рейку Hager SN016, 16А	2	
F2, F3	Запобіжник 50F, 1А, 5x20мм K206: 10921	2	

ДОДАТОК Г Документація до принципової електричної схеми

Таблиця Г – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми

Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>DI</u>		
	Модуль дискретного вводу DI 16x24VDC BA 6ES7 521-1BH10-0AA0	1	
	<u>DQ</u>		
	Модуль дискретного виводу DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA0	1	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
P1	Дзвоник електричний, живл. 24 V DC	1	
	<u>AI/AQ</u>		
	Модуль аналогового вводу виводу DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA0	2	
DT1, DT2	Датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П), діапазон 50 -150 °С з нормуючим перетворювачем ПСТ (0/150) -100П, діапазон уніфікованого вихідного сигналу постійного струму : 4...20 мА, Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт	2	
DT3	Датчик вологості мікрохвильовий Hydro-Mix XT, живл.24 В, 0,8 Вт, вих. сигнал 4-20мА DC	1	
VM1	Виконавчий механізм BELIMO LH24A-SR100, зусилля 150 Н, час повного ходу 150 с	1	