

**Міністерство освіти і науки України  
Луцький національний технічний університет  
Факультет робототехніки та штучного інтелекту  
Кафедра автоматизації та безпілотних систем**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ УСТАНОВКОЮ ДЛЯ  
СУШІННЯ КОРИЦІ**

**AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR CINNAMON DRYING PLANT**

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи АВ - 41  
**Бовкуш Софія Ігорівна**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник: д.т.н., професор  
**Повстяной Олександр Юрійович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

Гарант освітньої програми:  
к.т.н., доцент  
**Решетило О. М.**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 15 Автоматизація та приладобудування

Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ О. Ю. Повстяной

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Бовкуш Софії Ігорівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизована система керування установкою для сушіння кориці

керівник роботи Повстяной Олександр Юрійович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від " 31 " 12 2025 року N 307/01-04

2. Строк подання студентом роботи 1.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи технологічний процес виробництва кориці

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз об'єкта керування, Обґрунтування ФСА, Обґрунтування ТЗА, Обґрунтування та опис принципових електричних схем, Програмне забезпечення системи автоматизації, Дослідження динамічних характеристик сак методом кореневого годографа. Техніко-економічне обґрунтування

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

графічний матеріал виконано у вигляді презентації, яка складається з 7 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Розділ 2</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Розділ 3</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Розділ 4</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Розділ 5</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Розділ 6</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Розділ 7</i>	<i>Повстяной О. Ю.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Лапченко Ю. С.</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>			
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Лапченко Ю. С.</i>		

7. Дата видачі завдання 31.12.2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів випускної кваліфікаційної роботи	Примітка
1	<i>Аналіз об'єкта керування</i>	<i>20.02.2026 р.</i>	
2	<i>Обґрунтування вибору функціональної схеми</i>	<i>10.03.2026 р.</i>	
3	<i>Обґрунтування вибору ТЗА</i>	<i>20.03.2026 р.</i>	
4	<i>Обґрунтування і опис принципів електричних схем</i>	<i>1.04.2026 р.</i>	
5	<i>Програмне забезпечення систем автоматизації</i>	<i>10.04.2026 р.</i>	
6	<i>Розрахункова частина</i>	<i>20.04.2026 р.</i>	
7	<i>Техніко-економічне обґрунтування</i>	<i>1.05.2026 р.</i>	
8	<i>Оформлення роботи</i>	<i>1.06.2026 р.</i>	

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  
(підпис)

Бовкуш С. І.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Повстяной О. Ю.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Бовкуш С. І. Автоматизована система керування установкою для сушіння кориці. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Метою роботи є розробка та обґрунтування автоматизованої системи керування промисловим обладнанням для сушіння кориці, що забезпечує стабільні параметри процесу, поліпшення якості продукції та підвищення ефективності роботи.

Практична новизна полягає у розширених функціях вимірювання та моніторингу процесів, запровадженні інтелектуальних алгоритмів управління повітряним потоком і тепловим режимом, підвищення енергоефективності, покращення якості та безпеки виробництва.

Обсяг пояснювальної записки становить 50 друкованих сторінок. Об'єм графічної частини кваліфікаційної роботи складає 3 листа формату А1.

Ключові слова: кориця, технологічні параметри, керування, ADAM-5000.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Бовкуш С. І.			Автоматизована система керування установкою для сушіння кориці	Лім.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Повстяной ОЮ					4	
Н. контр.		Лапченко Ю.С				ЛНТУ, гр. АВ-41		
Затв.		Гуменюк Л.О.						

## ANNOTATION

Bovkush S. Automated control system for cinnamon drying plant. Manuscript.

Qualification work for bachelor's degree in "Automation and computer-integrated technologies". Lutsk National Technical University, Lutsk, 2026.

The bachelor's thesis consists of an introduction, seven chapters, conclusions and suggestions, a list of references and appendices.

The aim of the work is to develop and justify an automated control system for industrial equipment for drying cinnamon, which ensures stable process parameters, improves product quality, and increases operational efficiency.

The practical novelty lies in the expanded functions of measurement and monitoring of processes, the introduction of intelligent algorithms for controlling air flow and thermal conditions, increased energy efficiency, and improved quality and safety of production.

The volume of the explanatory note is 50 printed pages. The volume of the graphic part of the qualification work is 3 sheets of A1 format.

Key words: cinnamon, process parameters, control, ADAM-5000.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ .....	9
1.1 Опис та аналіз об'єкта керування .....	9
1.2 Перелік задач контролю та керування процесом .....	12
1.3 Критичний аналіз існуючої системи автоматизації .....	13
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ .....	16
РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	19
3.1 Вибір давачів .....	19
3.2 Вибір виконавчих пристроїв .....	21
3.3 Вибір пристроїв управління .....	23
3.4 Вибір джерел живлення .....	25
РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ .....	26
РОЗДІЛ 5 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	28
5.1 Розробка алгоритму функціонування системи управління .....	28
5.2 Розробка програмного забезпечення програмованого логічного контролера .....	29
РОЗДІЛ 6 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК САК МЕТОДОМ КОРЕНЕВОГО ГОДОГРАФА .....	37
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ .....	43
ВИСНОВОК .....	46
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	48
ДОДАТКИ .....	51

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Технологічний процес виробництва кориці поєднує традиційні ручні методи з контрольованими операціями сушіння, сортування та переробки. Якість продукту значною мірою залежить від часу збору врожаю, обережного поводження з корою, контрольованого бродіння та дбайливого сушіння для збереження аромату, смаку та вмісту ефірної олії.

Розробка автоматизованої системи керування установкою для сушіння кориці є надзвичайно актуальною, оскільки сушіння є найважливішим, визначальним для якості та енергоємним етапом у переробці кориці. Автоматизована система керування забезпечує стабільну якість продукції, знижує енергоспоживання та експлуатаційні витрати, підвищує стабільність процесів та знижує рівень браку, покращує пропускну здатність та виробничі потужності, сприяє дотриманню вимог безпеки харчових продуктів та їх відстежуваності, знижує навантаження на персонал та кількість людських помилок, сприяє масштабуванню та модернізації, дозволяє здійснювати оптимізацію на основі даних, підвищує конкурентоспроможність на світових ринках.

Метою даної роботи є розробка та обґрунтування автоматизованої системи керування промисловим обладнанням для сушіння кориці, що забезпечує стабільні параметри процесу, поліпшення якості продукції та підвищення ефективності роботи.

Об'єктом дослідження є технологічний процес промислового сушіння кориці, включаючи обладнання, умови експлуатації та параметри, що визначають видалення вологи, якість продукції та ефективність процесу.

Предметом дослідження є методи, алгоритми та технічні засоби автоматизованого керування, що застосовуються до процесу сушіння кориці, включаючи функціональні схеми автоматизації, мікропроцесорні модулі

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керування, конфігурації датчиків і виконавчих механізмів, а також динамічні та якісні характеристики системи.

Методи дослідження: аналіз існуючих процесів, системний підхід, структурно-функціональний метод.

Практична новизна полягає у розширених функціях вимірювання та моніторингу процесів, запровадженні інтелектуальних алгоритмів управління повітряним потоком і тепловим режимом, підвищення енергоефективності, покращення якості та безпеки виробництва.

У процесі виконання роботи необхідно вирішити такі задачі:

- виконати аналіз технологічного процесу як об'єкта керування;
- виконати розробку функціональної схеми автоматизації;
- виконати вибір технічних засобів автоматизації;
- виконати розробку схеми керування мікропроцесорними модулями;
- виконати дослідження динамічних характеристик сак методом кореневого годографа;
- виконати розрахунок затрат для запуску автоматизованої системи керування установкою для сушіння кориці.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

#### 1.1 Опис та аналіз об'єкта керування

Виробництво кориці – це сільськогосподарсько-промисловий процес, в ході якого внутрішня кора певних видів дерев роду *Cinnamomum* перетворюється на сушену ароматичну спецію. Технологічний процес можна описати як послідовність етапів, від вирощування до кінцевого пакування.

Після збирання кору розпушують, ферментують, висушують, подрібнюють, просіюють і упаковують.

У даній роботі розглянуто етап промислового сушіння кориці.

У промисловому виробництві кориці сушіння є критично важливою технологічною операцією, оскільки воно визначає кінцевий вміст вологи, структурну цілісність паличок, збереження летких ароматичних сполук, мікробіологічну безпеку та ринкову якість. На відміну від традиційного сушіння на сонці, промислове сушіння базується на контрольованих теплових та аеродинамічних умовах, що забезпечує однорідність та повторюваність.

Етап промислового сушіння призначений для:

- зниження вологості очищеної та подрібненої кори кориці з ~ 60-70 % (у вологому вигляді) до 10-12 %;
- збереження ефірних олій (циннамальдегід, евгенол);
- запобігання росту цвілі та ферментативному розкладанню;
- уникнення фізичних дефектів: тріщин, викривлення, розшарування колючок;
- досягнення однорідного кольору та аромату.

Для сушіння кориці може використовуватись наступне промислове сушильне обладнання [1].

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перфоровані лотки з нержавіючої сталі для періодичної роботи. Нагріте повітря проходить через штабельовані лотки і висушує кору. Цей спосіб підходить для малого та середнього виробництва.

Тунельні сушарки для напівбезперервної роботи – це системи на основі конвеєра або стелажів, де відбувається зональний контроль температури та повітряного потоку. Цей спосіб має вищу пропускну здатність та стабільність.

Шафові / гарячі повітряні сушарки – закриті камери з рециркуляцією повітря. Вони мають точний контроль температури та вологості і широко використовуються в переробці кориці високої якості.

Сушарки з псевдозрідженим шаром не використовуються для сушіння паличок кори через їхню крихкість, але можуть використовуватися для попередньої обробки подрібненої кори або порошку.

При промисловому сушінні відбуваються наступні етапи [2].

1. Початкове видалення вологи (сушіння поверхні). Метою процесу є видалення вільної вологи з поверхні, не пошкодивши структуру кори.

Початкове сушіння відбувається при температурі 35-40 °С, відносній вологості 65-75 % і швидкості повітря 0,3-0,6 м/с. Процес триває 6-12 годин. Основний ризик цього етапу: швидке сушіння, що призводить до затвердіння поверхні.

2. Проміжне сушіння (видалення зв'язаної вологи). Метою цього етапу є видалення вологи, зв'язаної в шарах кори.

Проміжне сушіння відбувається при температурі 40-50 °С, відносній вологості 55-65 %, швидкості повітря 0,5-1,0 м/с. Процес триває 12-24 години.

Ключовим контрольний пунктом цього етапу є поступовий градієнт вологості для запобігання утворенню тріщин.

3. Кінцеве сушіння та стабілізація. Метою цього етапу є досягнення цільової вологості та стабілізація аромату.

Кінцеве сушіння відбувається при температурі 45-50 °С (макс. 55 °С), відносній вологості 50-55%, швидкості повітря 0,3-0,5 м/с. Тривалість етапу 6-

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12 годин. В результаті кінцевий вміст вологи у корі становить 10-12 % а також отримується рівномірне скручування та затверділа структура волокон кори.

Для стабілізації після сушіння кору витримують при кімнатній температурі (20-25 °С) протягом 12-24 годин. Це запобігає виникненню конденсації під час пакування, забезпечує рівновагу вологості в партії.

При промисловому сушінні кориці потрібно контролювати ряд параметрів [3].

– Температура сушіння. Вона повинна бути нижчою від 55 °С. Вищі температури сушіння спричиняють втрату ефірних олій, потемніння кори, погіршення ароматичного профілю.

– Відносна вологість. Вона контролює швидкість сушіння та градієнт вологості. Надто низька відносна вологість спричиняє тріщини, а надто висока відносна вологість сприяє появі цвілі.

– Швидкість повітряного потоку. Вона забезпечує рівномірний тепло- та масообмін. Надмірна швидкість повітря призводить до механічних пошкоджень, а недостатній потік повітря спричиняє нерівномірне сушіння.

– Час сушіння. Загальний час промислового сушіння становить 24-48 годин. Він залежить від товщини кори, діаметра пір'я і початкового вмісту вологи.

– Вміст вологи. Це критичний параметр якості. Він контролюється за допомогою гравіметричних методів, датчиків вологості (інфрачервоних або емнісних). Цільове значення вологи становить 10-12 %.

– Щільність завантаження продукту. Товщина шару та відстань між лотками забезпечує рівномірний розподіл повітря. Перевантаження призводить до утворення вологих ділянок та ризику появи цвілі.

При неналежному контролі сушіння можливе виникнення дефектів:

– тріщини – через надмірну температуру або низьку відносну вологість;

– слабкий аромат – через перегрів, тривале сушіння;

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- утворення цвілі – через високу відносну вологість, недостатній потік повітря;
- нерівномірний колір – через нерівномірний розподіл потоку повітря;
- розшарування – через швидку втрату вологи.

## 1.2 Перелік задач контролю та керування процесом

Для отримання високоякісної спеції кориці при сушінні кори необхідно дотримуватись параметрів керування установки для сушіння, які наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри керування установкою для сушіння кориці

№	Назва параметра	Допустимі межі	Відхилення
1	Температура початкового сушіння, °С	35-40	± 3
2	Відносна вологість, початкового сушіння %	65-75	± 5
3	Швидкість повітря початкового сушіння, м/с	0,3-0,6	± 0,1
4	Час початкового сушіння, год.	6-12	± 1
5	Температура проміжного сушіння, °С	40-50	± 3
6	Відносна вологість, проміжного сушіння %	55-65	± 5
7	Швидкість повітря проміжного сушіння, м/с	0,5-1,0	± 0,1
8	Час проміжного сушіння, год.	12-24	± 1
9	Температура кінцевого сушіння, °С	45-50	± 3
10	Відносна вологість, кінцевого сушіння %	50-55	± 5
11	Швидкість повітря кінцевого сушіння, м/с	0,3-0,5	± 0,1
12	Час кінцевого сушіння, год.	6-12	± 1
13	Температура стабілізації, °С	20-25	± 3
14	Час стабілізації, год.	12-24	± 1
15	Кінцевий вміст вологи, %	10-12	± 1

Задачі автоматизації при керуванні установкою для сушіння кориці наступні:

- контроль товщини шару та відстані між лотками;

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- контроль і регулювання температури сушіння;
- контроль і регулювання відносної вологості;
- контроль і регулювання швидкості повітряного потоку;
- контроль і регулювання часу сушіння;
- контроль і регулювання температури стабілізації;
- контроль і регулювання часу стабілізації;
- контроль кінцевого вмісту вологи;
- сигналізація про відхилення.

### 1.3 Критичний аналіз існуючої системи автоматизації

Вхідні параметри – це вхідні дані, які надходять у систему до або на початку сушіння. До вхідних параметрів можна віднести:

- характеристики сировини (початковий вміст вологи, товщина кори, зрілість та склад кори, початкова температура);
- вхідні дані системи сушіння (температура вхідного повітря, вологість повітря на вході, конструкція повітропроводів);
- експлуатаційні параметри (щільність завантаження лотків, відстань між лотками, графік сушіння).

Вихідні параметри вказують на результат процесу сушіння та визначають ефективність сушіння та якість продукту. До вихідних параметрів відносяться:

- результати якості продукту (кінцевий вміст вологи, однорідність вологи в партії, однорідність кольору, збереження ефірних олій, цілісність структури, мікробіологічна безпека);
- результати ефективності процесу (крива швидкості сушіння, споживання енергії, втрата ваги під час сушіння).

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Керуючі параметри – це змінні, які автоматизована система контролю регулює для підтримки стабільності процесу та досягнення цільових показників:

- температура повітря для сушіння;
- відносна вологість повітря для сушіння;
- швидкість повітряного потоку / швидкість повітря;
- тривалість сушіння;
- коефіцієнт рециркуляції відпрацьованого повітря.

Збурюючі фактори – це неконтрольовані змінні, які можуть порушити процес або спричинити відхилення від бажаної кривої сушіння. До збурюючих параметрів можна віднести:

- мінливість сировини;
- збурення навколишнього середовища (коливання температури і відносної вологості навколишнього середовища, забруднення повітря);
- порушення, пов'язані з обладнанням (турбулентність повітряного потоку, нерівномірна робота нагрівальних елементів, забивання повітропроводів або фільтрів);
- експлуатаційні порушення (перевантаження лотків, нерівномірний інтервал завантаження).

Неконтрольовані зміни технологічних параметрів спричиняють порушення в процесі сушіння кориці, що безпосередньо впливає на систему керування сушильною установкою, її стабільність та здатність забезпечувати стабільну якість продукції.

Схема взаємозв'язків параметрів системи керування установкою для сушіння кориці показана на рисунку 1.1.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

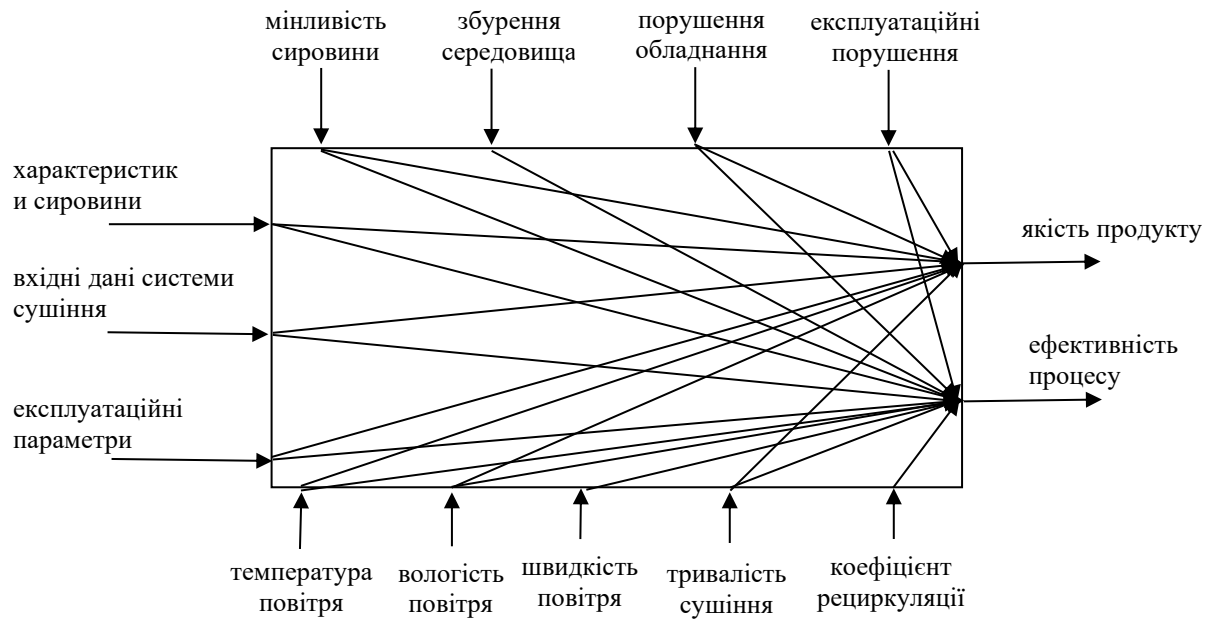


Рисунок 1.1 – Схема взаємозв'язків параметрів системи керування установкою для сушіння кориці

Неконтрольовані зміни суттєво впливають на систему керування сушаркою:

- вони дестабілізують контури зворотного зв'язку (температура, відносна вологість, потік повітря);
- призводять до неефективного використання енергії та збільшення механічного навантаження на обладнання;
- роблять модель керування недійсною, знижуючи точність і швидкість реагування;
- збільшують ризик дефектів якості продукції, що призводить до збільшення кількості відхилень і втручань оператора;
- створюють непередбачувану поведінку сушіння, ускладнюючи планування та керування пропускною здатністю.

## РОЗДІЛ 2

### ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Розроблена функціональна схема автоматизації охоплює весь технологічний ланцюг виробництва від приймання сировини до відправлення готової продукції на склад. Нижче наведено детальне обґрунтування рішень, прийнятих для кожної ділянки технологічного процесу.

Ванна замочування (позиція 1). Перший етап технологічного процесу передбачає завантаження сировини у ванну та подачу води. Для забезпечення якості процесу замочування необхідний контроль двох ключових параметрів.

Рівень води у ванні контролюється за допомогою датчика рівня LE 1-1. Підтримання заданого рівня є обов'язковою умовою повного та рівномірного зволоження сировини. Відхилення рівня вище або нижче заданого значення може призвести до неякісного замочування або перевитрати води. Регулювання здійснюється шляхом управління клапаном подачі води на основі сигналу від датчика.

Температура у ванні контролюється датчиком TE 2-1. Підтримання температурного режиму впливає на інтенсивність та рівномірність зволоження сировини. Терморегулятор підтримує задане значення температури, забезпечуючи необхідні умови для проходження процесу замочування.

Ленточний конвеєр (позиція 2) та сушильна камера (позиція 3). Після замочування сировина транспортується ленточним конвеєром 2 до сушильної камери 3. Процес сушіння є найбільш відповідальним і технологічно складним етапом виробництва. Промислове сушіння включає три послідовних стадії.

На першій стадії поверхні сировини видаляється вільна волога. Процес відбувається при температурі 35-40 °С, відносній вологості 65-75 % та швидкості повітря 0,3-0,6 м/с протягом 6-12 годин. Основний ризик цього

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

етапу надмірно швидке сушіння, що призводить до затвердіння поверхні та утворення тріщин.

На другій стадії видаляється зв'язана волога з внутрішніх шарів. Температура підвищується до 40-50 °С, відносна вологість знижується до 55-65 %, швидкість повітря становить 0,5-1,0 м/с. Тривалість етапу 12-24 години. Ключовою умовою є поступовий градієнт вологості для запобігання утворенню тріщин.

На третій стадії досягається цільова вологість 10-12 % та відбувається стабілізація аромату. Температура не повинна перевищувати 55 °С, відносна вологість складає 50-55 %, швидкість повітря 0,30,5 м/с. Після сушіння сировину витримують при кімнатній температурі 20-25 °С протягом 1224 годин для запобігання конденсації під час пакування.

Виходячи з вимог технологічного процесу, в сушильній камері здійснюється контроль та регулювання таких параметрів:

– температура повітря в камері – датчик ТЕ 5-1. Температура є критичним параметром, перевищення 55 °С призводить до втрати ефірних олій, погіршення ароматичного профілю та потемніння продукту. Регулятор температури підтримує заданий режим з урахуванням стадії сушіння;

– тиск повітря, що подається на сушіння – датчик РЕ 4-1. Контроль тиску забезпечує нормовану швидкість повітряного потоку, яка визначає рівномірність тепло- та масообміну. Недостатній тиск призводить до нерівномірного сушіння, надмірний до механічних пошкоджень сировини;

– вологість сировини – датчик МЕ 7-1. Вологість є основним критерієм якості продукту. Контроль здійснюється за допомогою інфрачервоного або ємнісного датчика вологості. При досягненні цільового значення 10-12 % подається сигнал про завершення процесу, а компресор відкачує надлишкову вологу з камери.

Підтримання усіх трьох параметрів у нормованих межах дозволяє уникнути таких дефектів готової продукції, як: тріщини (через надмірну

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температуру або низьку відносну вологість), слабкий аромат (через перегрів або тривале сушіння), утворення цвілі (через надмірну вологість або недостатній потік повітря), нерівномірний колір (через нерівномірний розподіл повітряного потоку), розшарування (через швидку втрату вологи).

Млин та просіювач (позиції 5 і 6). Після завершення сушіння сировина ленточним конвеєром 4 подається до млина 5, де відбувається її подрібнення, а потім на просіювач 6 для розділення за фракціями. Ці агрегати забезпечують необхідний гранулометричний склад продукту та не вимагають складних контурів автоматичного регулювання, проте в системі передбачений контроль їх роботи в режимі сигналізації.

Елеватор та автомат з ваговим дозатором (позиції 7 і 8). Просіяна суміш елеватором подається до автомата з ваговим дозатором 8. Для точного відважування заданої маси сировини застосовується датчик ваги WE 12-1. Контур автоматичного зважування забезпечує точне дозування кожної партії відповідно до технологічного регламенту. Після зважування порція транспортером 9 направляється на склад готової продукції.

Склад готової продукції. На складі підтримуються умови зберігання готової продукції, що безпосередньо впливають на її якість та терміни придатності. Передбачено контроль двох параметрів:

- температура – датчик TE 14-1. Підтримання температурного режиму зберігання запобігає погіршенню органолептичних властивостей продукту та розвитку мікробіологічних процесів;
- відносна вологість – датчик ME 14-3. Контроль вологості середовища на складі є критичним для запобігання зволоженню продукту, злежуванню та утворенню цвілі.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**РОЗДІЛ 3**  
**ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ**  
**АВТОМАТИЗАЦІЇ**

**3.1 Вибір датчиків**

Для вимірювання рівня рідини у ванні замочування (позиція 1) обрано радарний рівнемір Siemens SITRANS LR200. Це двопровідний імпульсний радарний перетворювач рівня частотою 6 ГГц, призначений для безперервного контролю рівня рідин та суспензій у технологічних резервуарах. Прилад відрізняється безконтактним принципом вимірювання, що виключає механічний знос та забезпечує стабільну роботу в умовах агресивного середовища. Полімерна антена з поліпропілену стійка до хімічних впливів. Вбудована цифрова функція «Process Intelligence» забезпечує надійну роботу навіть за наявності перешкод усередині резервуару. Зв'язок із системою управління здійснюється через стандартний інтерфейс 4-20 мА / HART або PROFIBUS PA, що забезпечує повну сумісність із ПЛК [4].

Технічні характеристики датчика SITRANS LR200 наведені в таблиці А.1 додатку А.

Для контролю температури у ванні замочування (ТЕ 2-1), в сушильній камері (ТЕ 5-1) та на складі (ТЕ 14-1) обрано промисловий датчик температури на основі платиногового терморезистора Pt100 (RTD – Resistance Temperature Detector). Тип датчика відповідає стандарту ІЕС 60751, клас точності В. Датчик Pt100 є найбільш поширеним засобом вимірювання температури в харчовій та переробній промисловості завдяки широкому діапазону вимірювань, лінійній залежності опору від температури та стабільності показань. Конструкція зі сталевим захисним кожухом із нержавіючої сталі 316L відповідає вимогам харчового виробництва. Вихідний сигнал 4-20 мА забезпечує передачу даних на значні відстані без втрат точності. Всі три точки

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювання температури охоплюються датчиками однієї серії, що спрощує обслуговування та калібрування [5].

Технічні характеристики датчика Pt100 RTD наведені в таблиці А.2 додатку А.

Для вимірювання тиску повітря, що подається в сушильну камеру (позиція РЕ 4-1), обрано цифровий датчик тиску Endress+Hauser Cerabar PMC51. Прилад оснащений ємнісним керамічним вимірювальним елементом, що не містить масла, забезпечуючи гігієнічність та безпеку у харчовому виробництві. Датчик має вакуумостійку керамічну мембрану зі вбудованою функцією виявлення пошкоджень, що підвищує надійність системи. Підтримка протоколів 4-20 мА HART, PROFIBUS PA та FOUNDATION Fieldbus забезпечує гнучку інтеграцію в систему управління. Прилад сертифіковано за рівнем функціональної безпеки SIL2 згідно IEC 61508 та IEC 61511. Модульна конструкція дозволяє замінювати дисплей та електронний блок без демонтажу [6].

Технічні характеристики датчика Cerabar PMC51 наведені в таблиці А.3 додатку А.

Для вимірювання вологості сировини в сушильній камері (МЕ 7-1) та вологості повітря на складі (МЕ 14-3) обрано перетворювач відносної вологості та температури Vaisala HMT120. Прилад базується на запатентованій технології HUMICAP® із сенсором HUMICAP® 180R, що забезпечує високу точність і довгострокову стабільність показань. Датчик відрізняється знімним вимірювальним зондом, який можна легко замінювати в польових умовах без демонтажу перетворювача – це суттєво спрощує технічне обслуговування та калібрування. Захищений корпус класу IP65 дозволяє використовувати прилад у вологих та запилених виробничих середовищах. Аналоговий вихід 4-20 мА та можливість USB-підключення для налаштування через ПК роблять датчик зручним для інтеграції в систему SCADA [7].

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики датчика Vaisala HMT120 наведені в таблиці А.4 додатку А.

Для точного зважування порцій готової продукції (позиція WE 12-1) в автоматі з ваговим дозатором обрано промисловий ваговий термінал Mettler Toledo IND780. Цей термінал є високоефективним рішенням для автоматичного дозування та технологічного зважування і підтримує роботу з аналоговими тензодатчиками, а також із цифровими датчиками серій IDNet, POWERCELL та SICS. Апаратна підтримка до чотирьох незалежних вагових каналів одночасно дозволяє організувати контроль маси на кількох ділянках технологічної лінії. Швидкодійний АЦП з частотою 366 Гц забезпечує точне і стабільне зважування навіть при динамічних навантаженнях. Термінал оснащений захищеним корпусом класу IP69К для застосувань у жорстких виробничих умовах. Інтерфейси Ethernet, RS-232/RS-485, USB і польові шини забезпечують інтеграцію з ПЛК та SCADA-системами [8].

Технічні характеристики вагового терміналу Mettler Toledo IND780 наведені у таблиці А.5 додатку А.

### 3.2 Вибір виконавчих пристроїв

Для дистанційного керування електродвигунами технологічного обладнання (ленточних конвеєрів 2 і 4, елеватора 7, млина 5, просіювача 6 та компресора для відкачування вологи) обрано трифазний електромагнітний контактор Schneider Electric серії TeSys D, модель LC1D25BD. Контактор призначений для пуску, зупинки та захисту трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором [9].

Ключовою перевагою обраної моделі є котушка керування на 24 В постійного струму (DC), що ідеально узгоджується з дискретними виходами ПЛК у діапазоні 10-30 В. Вбудований двонаправлений захисний діод котушки (bi-directional peak limiting diode) захищає ПЛК від зворотніх імпульсів

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перенапруги при відключенні контактора. Конструкція відповідає стандарту IEC 60947-4-1 та має ступінь захисту IP20 у відкритому виконанні. Контактор встановлюється на стандартну DIN-рейку 35 мм. До нього приєднуються теплові реле серії LRD для захисту двигунів від перевантаження. Номінальний струм 25 А при категорії застосування AC-3 дозволяє підключати двигуни потужністю до 11 кВт при напрузі 380–400 В.

Технічні характеристики контактора Schneider Electric LC1D25BD наведені у таблиці А.6 додатку А.

Для плавного регулювання продуктивності насосів (насоса подачі води у ванну замочування та компресора відкачування вологи з сушильної камери) обрано частотний перетворювач Schneider Electric Altivar 312, модель ATV312HU40N4. Застосування частотного перетворювача замість прямого пуску насосів дозволяє плавно регулювати витрату та тиск у відповідності до поточних технологічних потреб, що забезпечує значну економію електроенергії та продовжує ресурс насосного обладнання [10].

Altivar 312 є компактним та надійним перетворювачем частоти, розробленим спеціально для промислових машин, у тому числі насосів і вентиляторів. Прилад забезпечує безсенсорне векторне керування потоком (sensorless flux vector control), що надає точне управління швидкістю і моментом двигуна без необхідності використання зворотного зв'язку від енкодера. Вбудований фільтр ЕМС знижує рівень електромагнітних завад, що є обов'язковою вимогою при роботі спільно з датчиками та ПЛК. Інтеграція з системою управління забезпечується через протоколи Modbus RTU та CANopen, а також через аналоговий вхід 4-20 мА, що відповідає вихідному сигналу ПЛК.

Серед функцій захисту перетворювач забезпечує: тепловий захист двигуна, захист від перевантаження по струму (170-200 % від номінального), захист від перенапруги та недонапруги живлення, захист від обриву фази та

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

короткого замикання на виході. Вбудований гальмівний ключ дозволяє підключити гальмівний резистор для динамічного гальмування.

Технічні характеристики частотного перетворювача Altivar ATV312HU40N4 наведені А.7 додатку А.

### 3.3 Вибір пристроїв управління

ADAM-5000L/TCP 4-слотова розподілена система збору даних та управління на базі Ethernet. Споживана потужність базового блоку 4,0 Вт при 24 В DC. Підтримує одночасний доступ 8 хост-ПК через Ethernet. Протокол Modbus/TCP забезпечує стандартизовану сумісність із сучасними ПЛК, SCADA-системами та НМІ-панелями [11].

Система підтримує до 8 модулів вводу-виводу, що забезпечує до 128 точок вимірювання та управління на один контролер.

Технічні характеристики контролера ADAM-5000/TCP наведені у таблиці А.8 додатку А.

Перед вибором модулів вводу-виводу проведено аналіз усіх сигналів системи автоматизації відповідно до розробленої ФСА.

За результатами аналізу визначено наступний склад модулів вводу-виводу: один модуль аналогового вводу ADAM-5017P (для вимірювання сигналів 4-20 мА від датчиків рівня, тиску, вологості та маси), 1 модуль RTD-вводу ADAM-5013 (для підключення 3 датчиків температури Pt100), 1 модуль аналогового виводу ADAM-5024 (для керування частотними перетворювачами), 1 модуль дискретного виводу ADAM-5056 (для керування котушками контакторів 24 В DC). Усього задіяно 4 слотів з 4 наявних.

Модуль ADAM-5017P [12] призначений для вимірювання аналогових сигналів від датчиків рівня (LE 1-1), тиску (PE 4-1), вологості (ME 7-1, ME 14-3) та маси (WE 12-1).

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики модуля ADAM-5017P наведені у таблиці А.9 додатку А.

Модуль ADAM-5013 призначений для безпосереднього підключення датчиків температури типу Pt100 (ТЕ 2-1, ТЕ 5-1, ТЕ 14-1). Кожен модуль забезпечує 3 незалежних канали підключення RTD-датчиків. Завдяки двом модулям ADAM-5013 підключаються всі 3 датчики температури. Модуль є 16-бітним і підтримує підключення RTD у режимах 2, 3 або 4-дротового виконання [13].

Технічні характеристики модуля ADAM-5013 наведені у таблиці А.10 додатку А.

Модуль ADAM-5024 використовується для формування аналогових керуючих сигналів 4-20 мА для частотних перетворювачів Altivar ATV312 насоса подачі води та компресора. Модуль є 4-канальним аналоговим виходом із роздільною здатністю 12 біт. Підтримуються як струмові (0-20 мА, 4-20 мА), так і напругові (0-10 В) виходи [14].

Технічні характеристики модуля ADAM-5024 наведені у таблиці А.11 додатку А.

Модуль ADAM-5056 призначений для формування дискретних керуючих сигналів для котушок магнітних пускачів Schneider Electric LC1D25BD (конвеєри 2 і 4, елеватор, млин, просіювач, компресор). Модуль забезпечує 16 каналів дискретного виводу на основі відкритого колектора (open-collector), що сумісні з котушками контакторів на 24 В DC у діапазоні напруги 10-30 В [15].

Технічні характеристики модуля ADAM-5056 наведені у таблиці А.12 додатку А.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.4 Вибір джерел живлення

Споживана потужність кожного компонента визначається за технічними характеристиками виробника (Advantech) наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Споживана потужність контролера та модулів I/O

Компонент	Модель	К-сть, шт.	P, Вт / шт.	P сум., Вт
Базовий контролер	ADAM-5000L/TCP	1	2,50	2,50
Модуль RTD-вводу	ADAM-5013	1	1,10	1,10
Модуль аналогового вводу	ADAM-5017P	1	1,25	1,25
Модуль аналогового виводу	ADAM-5024	1	2,90	2,90
Модуль дискретного виводу	ADAM-5056	1	0,53	0,53
Разом				8,28

Сумарна розрахункова потужність усіх споживачів:

$$P_{\text{розр}}=8,28 \text{ Вт.}$$

Відповідно до вимог надійності та з урахуванням пускових струмів при ввімкненні контакторів (до 10-кратного значення струму утримання протягом перших 50 мс), необхідно застосувати коефіцієнт запасу потужності  $K = 1,25$ :

$$P_{\text{вибір}}= P_{\text{розр}} \times K = 8,28 \times 1,25 = 10,35 \text{ Вт.}$$

Таким чином, необхідний блок живлення з вихідною потужністю не менше 10,35 Вт при напрузі 24 В DC. Враховуючи стандартний ряд потужностей промислових блоків живлення, обирається наступна стандартна модель: Mean Well MDR-60-24 з номінальною потужністю 60 Вт [16].

Технічні характеристики блока живлення Mean Well MDR-100-24 наведені у таблиці А.13 додатку А.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4

### ОБГРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

Принципова електрична схема відображає повний склад електричних з'єднань між компонентами системи автоматизації. Вона визначає порядок підключення датчиків, виконавчих пристроїв та інших засобів до входів і виходів контролера, а також кола живлення та захисту.

Датчики температури Pt100 (TE 2-1, TE 5-1, TE 14-1) підключаються до модулів ADAM-5013 за 3-дротовою схемою клеми EX+, Vin+, Vin-. Датчики з виходом 4-20 мА (LE 1-1, PE 4-1, ME 7-1, WE 12-1, ME 14-3) підключаються до модулів ADAM-5017P, де вбудований резистор 120 Ом на кожному каналі перетворює струм петлі у напругу для АЦП. Аналогові виходи ADAM-5024 формують сигнал 4-20 мА на входи AI3 частотних перетворювачів ATV312. Команди пуску та зупинки виконавчих пристроїв надходять з ADAM-5056 на входи LI1 безпосередньо. Контактори LC1D25BD підключаються до ADAM-5056.

Повний розподіл усіх сигналів по слотах, каналах та клеммах контролера ADAM-5000/TCP наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведений розподіл сигналів контролера ADAM-5000/TCP

Слот / Модуль	Канал	Позиція ФСА	Тип сигналу	Підключений пристрій
1	2	3	4	5
Слот 1 / ADAM-5013	CH0	TE 2-1	RTD Pt100	Датчик температури – ванна замочування
Слот 1 / ADAM-5013	CH1	TE 5-1	RTD Pt100	Датчик температури – сушильна камера
Слот 1 / ADAM-5013	CH2	TE 14-1	RTD Pt100	Датчик температури – склад готової продукції
Слот 2 / ADAM-5017P	CH0	LE 1-1	AI 4–20 мА	Siemens SITRANS LR200 – рівень у ванні замочування
Слот 2 / ADAM-5017P	CH1	PE 4-1	AI 4–20 мА	E+H Cerabar PMC51 – тиск повітря для сушіння

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
Слот 2 / ADAM-5017P	CH2	ME 7-1	AI 4–20 мА	Vaisala HMT120 – вологість у сушильній камері
Слот 2 / ADAM-5017P	CH3	WE 12-1	AI 4–20 мА	Mettler Toledo IND780 – маса порції
Слот 2 / ADAM-5017P	CH4	ME 14-3	AI 4–20 мА	Vaisala HMT120 – вологість на складі
Слот 2 / ADAM-5017P	CH5–CH7	–	Резерв	–
Слот 3 / ADAM-5024	CH0 (AO+0)	NS 4-3	AO 4–20 мА	Аналоговий пускач NS 4-3 (завдання 0–100 %)
Слот 3 / ADAM-5024	CH1 (AO+1)	NS 6-3	AO 4–20 мА	Аналоговий пускач NS 6-3 (завдання 0–100 %)
Слот 3 / ADAM-5024	CH2 (AO+2)	NS 14-4	AO 4–20 мА	Аналоговий пускач NS 14-4 (завдання 0–100 %)
Слот 3 / ADAM-5024	CH3	–	Резерв	–
Слот 4 / ADAM-5056	CH0 (DO0)	NS 1-3	DO 24В DC	Пускач NS 1-3 (через реле К1)
Слот 4 / ADAM-5056	CH1 (DO1)	NS 3-1	DO 24В DC	Пускач NS 3-1 (через реле К2)
Слот 4 / ADAM-5056	CH2 (DO2)	NS 7-1	DO 24В DC	Пускач NS 7-1 (через реле К3)
Слот 4 / ADAM-5056	CH3 (DO3)	NS 8-1	DO 24В DC	Пускач NS 8-1 (через реле К4)
Слот 4 / ADAM-5056	CH4 (DO4)	NS 9-1	DO 24В DC	Пускач NS 9-1 (через реле К5)
Слот 4 / ADAM-5056	CH5 (DO5)	NS 10-1	DO 24В DC	Пускач NS 10-1 (через реле К6)
Слот 4 / ADAM-5056	CH6 (DO6)	NS 11-1	DO 24В DC	Пускач NS 11-1 (через реле К7)
Слот 4 / ADAM-5056	CH7 (DO7)	NS 12-3	DO 24В DC	Пускач NS 12-3 (через реле К8)
Слот 4 / ADAM-5056	CH8 (DO8)	NS 13-1	DO 24В DC	Пускач NS 13-1 (через реле К9)
Слот 4 / ADAM-5056	CH9–CH15	–	Резерв	–

## РОЗДІЛ 5

### ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 5.1 Розробка стратегії керування підготовки та сушіння кориці в SCADA-системі AdamView

На основі функціональної схеми автоматизованої системи керування ділянкою підготовки та сушіння кориці в SCADA-системі ADAMView [17] була розроблена стратегія, що містить одну задачу (алгоритм роботи), що приведена на рисунку 5.1, та одну віртуальну панель керування оператора.

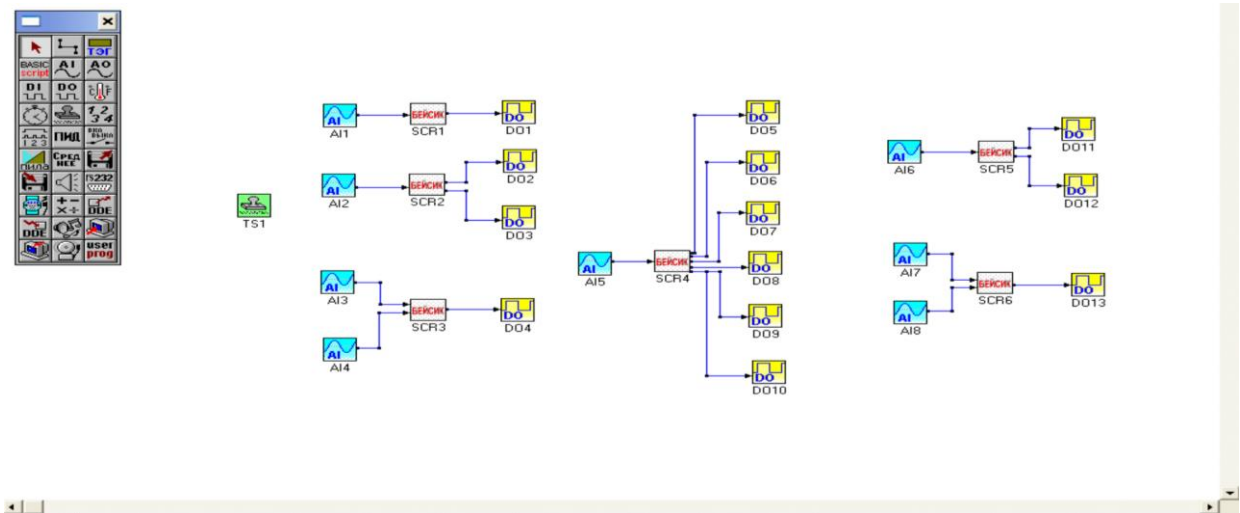


Рисунок 5.1 – Мнемосхема стратегії керування ділянкою підготовки та сушіння кориці (Редактор задач SCADA-системи ADAMView)

Для доступу до каналів модулів вводу/виводу контролера, а саме: ADAM-5017P (для вимірювання сигналів 4-20 мА від датчиків рівня, тиску, вологості та маси), модуль RTD-вводу ADAM-5013 (для підключення 3 датчиків температури Pt100), модуль аналогового виводу ADAM-5024 (для керування частотними перетворювачами), модуль дискретного виводу ADAM-5056 (для керування котушками контакторів 24 В DC), в додатку для підключення пристроїв додаємо відповідні модулі до пристроїв вводу/виводу додатку.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

В Редакторі задач створюємо мнемосхему (алгоритм обробки інформації) для зчитування інформації з датчиків з аналоговим вихідним сигналом (датчиків рівня, температури, тиску, вологості та маси) використовуємо графічний блок аналогового вводу AI. Для передачі інформації на виконавчі елементи з дискретним сигналом (контактори) – графічний блок дискретного виводу DO, з аналоговим виходом (частотні перетворювачі) – АО.

### 5.1 Розробка програмного забезпечення

До алгоритму додаємо блок аналогового вводу AI1, до якого на віртуальному рівні підключаємо датчик рівня LE 1-1.

Додаємо блок SCR1 та на мові Basic Script прописуємо лістинг 5.1.

#### Лістинг 5.1 – Програма для блоку SCR1

---

```
Sub SCR1()  
  set le = GetTag("TASK1", "AI1")  
  if le>1.8 then  
    outputi 0,0  
  end if  
  if le<0.1 then  
    outputi 0,1  
  end if  
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.1

Загальний вигляд програми в блоці SCR1 наведено на рисунку 5.2.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

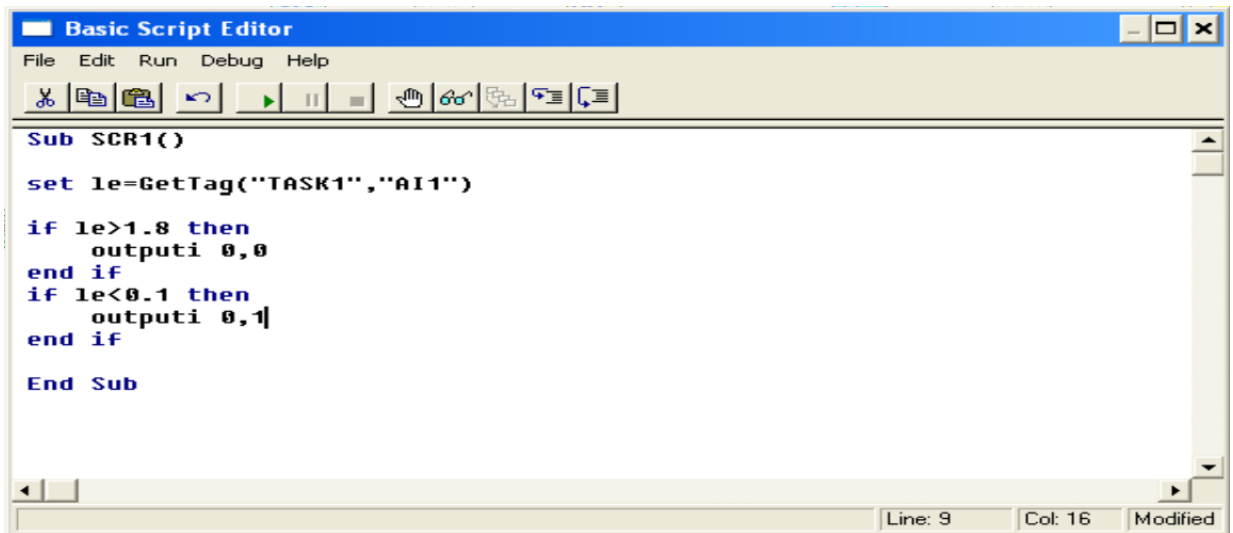


Рисунок 5.2 – Загальний вигляд лістингу програми в блоці SCR1

За допомогою провідника з'єднуємо блок аналогового вводу AI1 з блоком SCR1.

Додаємо блок дискретного виводу DO1, до якого на віртуальному рівні підключаємо контактор NS 1-3.

За допомогою провідника вихід 0 блока SCR1 з'єднуємо з блок дискретного виводу DO1.

До алгоритму додаємо блок аналогового вводу AI2, до якого на віртуальному рівні підключаємо датчик температури TE 2-1.

Додаємо блок SCR2 та на мові Basic Script прописуємо лістинг 5.2.

Лістинг 5.2 – Програма для блоку SCR2

```

Sub SCR2()
set x = GetTag("TASK1", "AI2")
if x<40 then
  outputi 0,1
  outputi 1,1
end if
if x>50 then

```

									АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
										30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

```
outputi 0,0
outputi 1,0
end if
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.2

За допомогою провідника з'єднуємо блок аналогового вводу AI1 з блоком SCR2.

Додаємо блок дискретного виводу DO2, до якого на віртуальному рівні підключаємо контактор NS 2-3.

Додаємо блок дискретного виводу DO3, до якого на віртуальному рівні підключаємо контактор NS 3-1.

За допомогою провідника вихід 0 блока SCR2 з'єднуємо з блок дискретного виводу DO2, а вихід 1 – з блоком DO3.

До алгоритму додаємо блок аналогового вводу AI3, до якого на віртуальному рівні підключаємо датчик тиску PE 4-1 та AI4, до якого на віртуальному рівні підключаємо датчик температури TE 5-1.

Додаємо блок SCR3 та на мові Basic Script прописуємо лістинг 5.3.

Лістинг 5.3 – Програма для блоку SCR3

---

```
Sub SCR3()
set t = GetTag("TASK1", "AI3")
set p = GetTag("TASK1", "AI4")
if t>55 then
outputi 0,0
else
outputi 0,1
end if
```

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
if p>2 then
    outputi 0,0
else
    outputi 0,1
end if
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.3

За допомогою провідника з'єднуємо блоки аналогового вводу AI3 та AI4 з блоком SCR3.

Додаємо блок дискретного виводу DO4, до якого на віртуальному рівні підключаємо контактор NS 4-3.

До алгоритму додаємо блок аналогового вводу AI5, до якого на віртуальному рівні підключаємо датчик температури TE 6-1.

Додаємо блок SCR4 та на мові Basic Script прописуємо лістинг 5.4.

Лістинг 5.4 – Програма для блоку SCR4

---

```
Sub SCR4()
set x = GetTag("TASK1", "AI5")
if x>50 then
    outputi 0,0
    outputi 1,0
    outputi 2,0
    outputi 3,0
    outputi 4,0
    outputi 5,0
    outputi 6,0
else
```

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
outputi 0,1
outputi 1,1
outputi 2,1
outputi 3,1
outputi 4,1
outputi 5,1
outputi 6,1
end if
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.4

За допомогою провідника з'єднуємо блок аналогового вводу AI5 з блоком SCR4.

Додаємо блок дискретного виводу DO5, до якого на віртуальному рівні підключаємо контактор NS 6-3.

Додаємо блок дискретного виводу DO6, до якого на віртуальному рівні підключаємо контактор NS 7-1.

Додаємо блок дискретного виводу DO7, до якого на віртуальному рівні підключаємо контактор NS 8-1.

Додаємо блок дискретного виводу DO8, до якого на віртуальному рівні підключаємо контактор NS 9-1.

Додаємо блок дискретного виводу DO9, до якого на віртуальному рівні підключаємо контактор NS 10-1.

Додаємо блок дискретного виводу DO10, до якого на віртуальному рівні підключаємо контактор NS 11-1.

За допомогою провідника вихід 0 блока SCR4 з'єднуємо з блок дискретного виводу DO5, вихід 1 – з блоком DO6, вихід 2 – з блоком DO7, вихід 3 – з блоком DO8, вихід 4 – з блоком DO9, f вихід 5 – з блоком DO10.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До алгоритму додаємо блок аналогового вводу AI6, до якого на віртуальному рівні підключаємо датчик ваги WE 12-1.

Додаємо блок SCR5 та на мові Basic Script прописуємо лістинг 5.5.

#### Лістинг 5.5 – Програма для блоку SCR5

---

```
Sub SCR5()  
set x = GetTag("TASK1", "AI6")  
if x>2 then  
    outputi 0,0  
    outputi 1,0  
else  
    outputi 0,1  
    outputi 1,1  
end if  
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.5

За допомогою провідника з'єднуємо блок аналогового вводу AI6 з блоком SCR5.

Додаємо блок дискретного виводу DO11, до якого на віртуальному рівні підключаємо контактор NS 12-3.

Додаємо блок дискретного виводу DO12, до якого на віртуальному рівні підключаємо контактор NS 13-1.

За допомогою провідника вихід 0 блока SCR5 з'єднуємо з блок дискретного виводу DO11, а вихід 1 – з блоком DO12.

До алгоритму додаємо блок аналогового вводу AI7, до якого на віртуальному рівні підключаємо датчик температури TE 14-1 та AI8, до якого на віртуальному рівні підключаємо датчик вологості ME 14-3.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаємо блок SCR6 та на мові Basic Script прописуємо лістинг 5.6.

### Лістинг 5.6 – Програма для блоку SCR6

---

```
Sub SCR6()  
set t = GetTag("TASK1", "AI7")  
set w = GetTag("TASK1", "AI8")  
if t>55 then  
    outputi 0,0  
else  
    outputi 0,1  
end if  
if w>10 then  
    outputi 0,1  
else  
    outputi 0,0  
end if  
End Sub
```

---

кінець лістингу 5.6

За допомогою провідника з'єднуємо блоки аналогового вводу AI14 та AI15 з блоком SCR6.

Додаємо блок дискретного виводу DO13, до якого на віртуальному рівні підключаємо контактор NS 14-4.

За допомогою провідника вихід 0 блока SCR6 з'єднуємо з блок дискретного виводу DO13.

Розроблена в Редакторі форм панель керування оператора приведена на рисунку 5.3.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

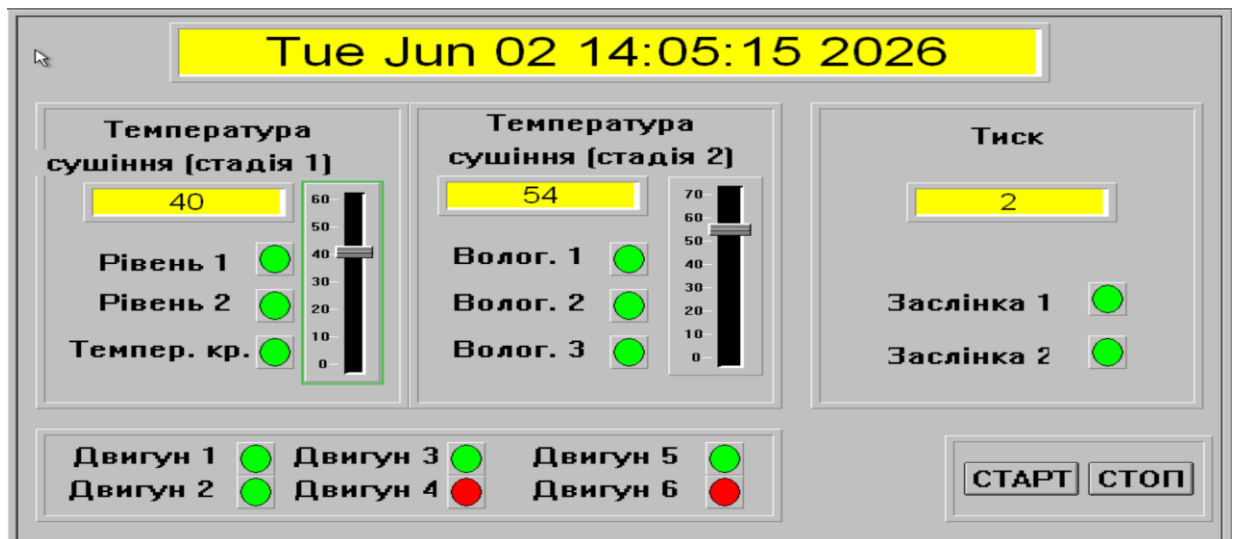


Рисунок 5.3 – Панель керування оператора (Редактор форм SCADA-системи ADAMView)

На основі функціональної схеми автоматизованої системи керування ділянкою підготовки та сушіння кориці в SCADA-системі ADAMView розроблена стратегія, що містить одну задачу та одну віртуальну панель керування оператора.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

## РОЗДІЛ 6

### ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК САК МЕТОДОМ КОРЕНЕВОГО ГОДОГРАФА

У відповідності до теми кваліфікаційної роботи «Автоматизована система керування установкою для сушіння кориці» об'єктом керування є сушильна камера. Основним регульованим параметром якої є температура сушильного агенту (повітря). Відповідно до технологічного регламенту на етапі проміжного сушіння температура повинна підтримуватись у межах 40-50 °С і рекомендоване задане значення  $T_{зад}=45$  °С для забезпечення ефективного видалення вологи, зв'язаної в шарах кори. Дослідження динамічних характеристик методом кореневого годографа дозволить визначити оптимальні значення коефіцієнта підсилення регулятора та забезпечить стійкість системи керування з перегулюванням не більше 5 % [18].

Для початку запишемо передатну функцію сушильної камери – аперіодична ланка другого порядку, формула 6.1:

$$W_o(s) = \frac{k}{(T_1s+1)(T_2s+1)}, \quad (6.1)$$

де  $k=2,5$  – статичний коефіцієнт підсилення об'єкта (°С/кВт);

$T_1=120$  с – постійна часу сушильної камери, що відображає теплову інерцію повітряного середовища, стінок камери та продукту;

$T_2=30$  с – постійна часу датчика температури разом із вторинним перетворювачем.

Після підстановки значень отримуємо передаточну ланку наступного вигляду:

$$W_o(s) = \frac{2,5}{(120s+1)(30s+1)} = \frac{2,5}{3600s^2+150s+1}.$$

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно методики кореневого годографа, спочатку знайдемо полюси розімкнутої системи:

$$p_1 = -\frac{1}{T_1} = -0,0083c^{-1} \quad p_2 = -\frac{1}{T_2} = -0,00333c^{-1}.$$

Отримані полюси є дійсними від'ємними, нулі відсутні, відповідно розімкнена система є стійкою аперіодичною ланкою другого порядку.

Запишемо характеристичне рівняння замкненої САК температури сушильної камери з П-регулятором:

$$1 + K \times W_o(s) = 0 \rightarrow 3600s^2 + 150s + (1 + 2,5 \times K) = 0.$$

За результатами розрахунків отримано параметри кореневого годографа, який має 2 гілки, рисунок 6.1.

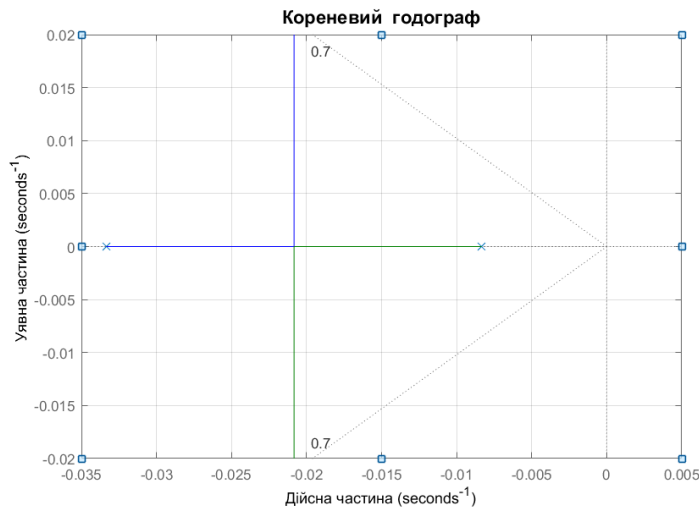


Рисунок 6.1 – Кореневий годограф САК

З отриманого графіку видно, що обидві гілки ніколи не перетинають уявну вісь, а отже система стійка при будь-якому  $K > 0$ .

Для визначення оптимального коефіцієнта П-регулятора використано умову  $\delta \leq 5\%$ , якій відповідає коефіцієнт демпфування  $\xi \geq 0,7$ . З характеристичного рівняння замкненої системи виражаємо  $\zeta$  та розв'язуємо нерівність відносно коефіцієнта  $K$  [18]:

$$\xi = \frac{150}{2\sqrt{3600 \times (1 + 2,5K)}} \geq 0,7,$$

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K = 0,876.$$

Далі проведемо побудову та аналіз впливу  $K$  на якість перехідного процесу і побудуємо перехідні характеристики, рисунок 6.2.

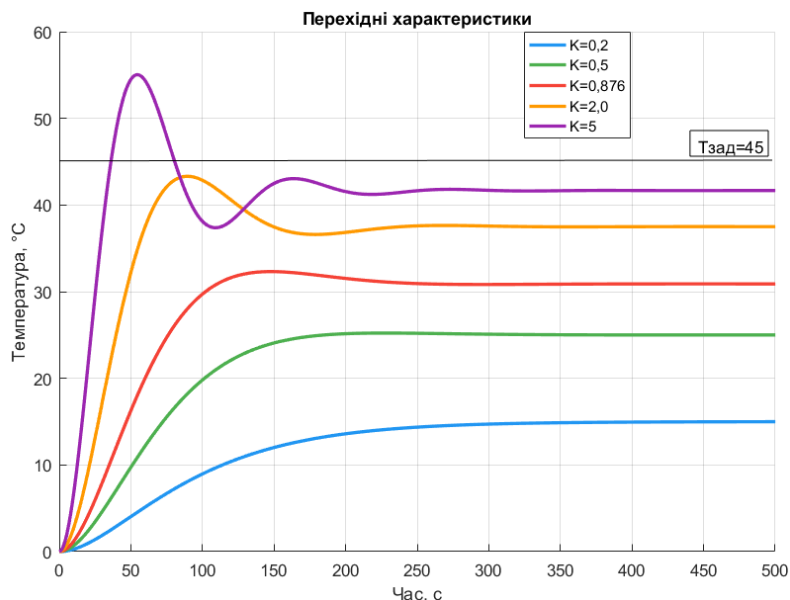


Рисунок 6.2 – Перехідні характеристики САК при різних  $K$  ( $T_{зад}=45\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

На рисунку 6.3 окремо показано характеристику при оптимальному значенні коефіцієнта підсилення: перерегулювання становить  $\sigma=4,6\%$ , а стала похибка становити  $14,11\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $31,3\%$ ).

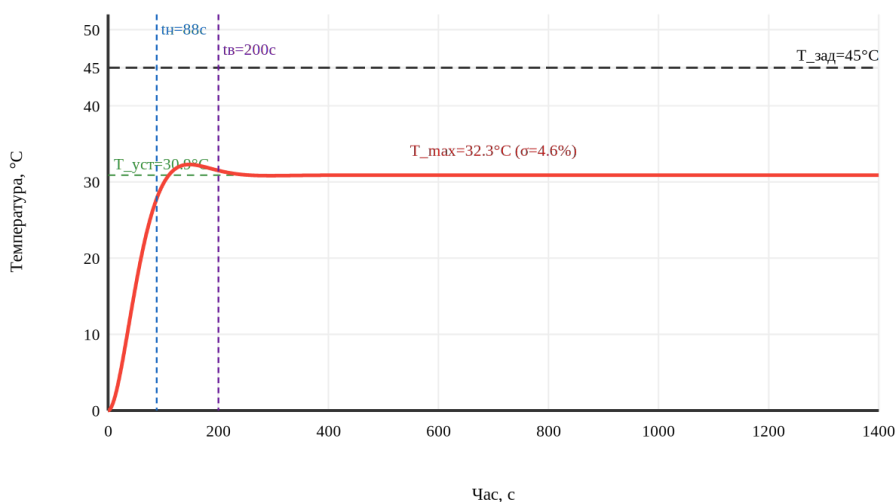


Рисунок 6.3 – Перехідна характеристика при оптимальному значенні коефіцієнта  $K_{опт} = 0,876$

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ		Арк.
							39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Проведений аналіз отриманих перехідних характеристик дозволив зробити наступні висновки, щодо показників якості перехідного процесу, які зведено до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Показники якості перехідних процесів

К	Tуст, °C	Tmax, °C	σ, %	tв, с	tн, с
0,2	15,00	15,00	0	298	196
0,5	25,00	25,21	0,9	162	125
0,876	30,89	32,30	4,6	200	88
2,0	37,50	43,28	15,5	194	53
5,0	41,67	55,00	32,1	180	30

Дані, які подані в таблиці підтверджують, що запропонований П-регулятор не може забезпечити перегулювання  $\sigma \leq 5\%$  і малу сталу похибку одночасно, що є недоліком. Тому для усунення цього обмеження доцільним є перехід до ПІ-регулятора.

Оскільки ПІ-регулятор має інтегральну складову, то передаточна функція містить полюс у початку координат ( $s=0$ ), що надає системі властивість астатизму першого порядку. Відповідно в таких системах стала похибка при вхідному сигналі ступінчастого типу дорівнює нулю і не залежить від величини коефіцієнта К [19, 20].

Параметри ПІ-регулятора розраховано методом технічного оптимуму для об'єктів другого порядку:

$$T_i = T_1 + T_2 = 120 + 30 = 150 \text{ с,}$$

$$K_p = T_1 / (k \cdot (T_1 + T_2)) = 120 / (2,5 \cdot 150) = 0,320.$$

На рисунку 6.4 наведено дві перехідні характеристики САК температури сушіння кориці з П-регулятором ( $K=0,876$ ) та ПІ-регулятором ( $K_p=0,320$ ,  $T_i=150$  с) при заданому значенні температури 45 °C.

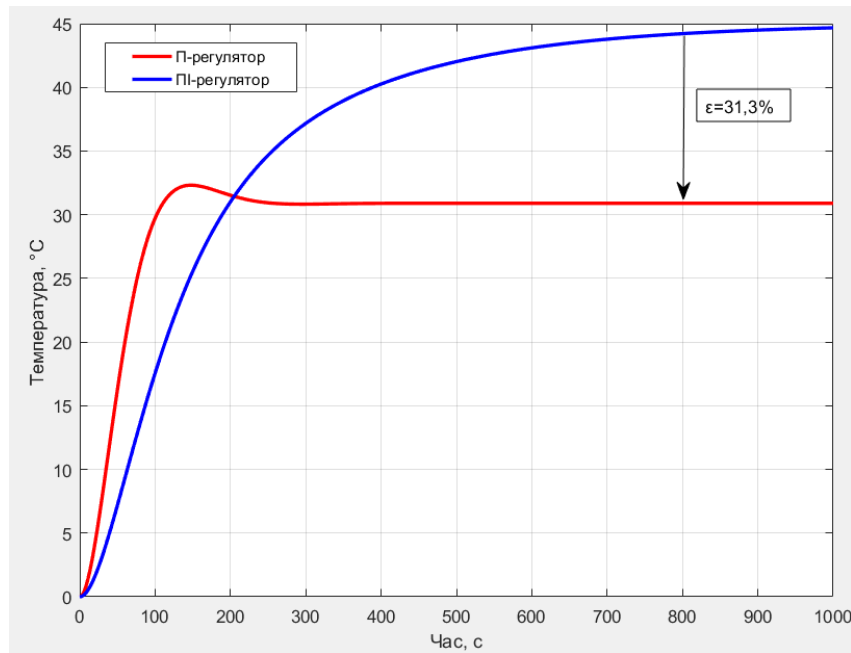


Рисунок 6.4 – Порівняння перехідних характеристик регуляторів

З рисунка 6.4 видно показники якості отриманих перехідних характеристик [18]:

- П-регулятор встановлюється на рівні 30,89 °C зі сталою похибкою 31,3 %;
- ПІ-регулятор забезпечує вихід на задане значення температури в 45 °C без сталої похибки.

Порівняльні показники якості зведено до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Порівняння показників якості П та ПІ-регуляторів

Показник якості	П-регулятор	ПІ-регулятор
Усталена температура $T_{уст}$	30,89 °C	45,00 °C
Стала похибка $\epsilon$	31,3 %	0 %
Перерегулювання $\sigma$	4,5 %	0 %
Час встановлення $t_v$	300 с	1000 с

Аналіз проведених розрахунків та отриманих результатів свідчить, що ПІ-регулятор повністю усуває сталу похибку  $\epsilon=0$  %, забезпечуючи точне підтримання заданої температури 45 °C. Час встановлення зростає до 1000 с,

що є прийнятним з огляду на тривалість етапу проміжного сушіння 12-24 години. Перерегулювання відсутнє, тому температура не перевищує допустимого максимуму 55 °С.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 7

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Розробка автоматизованої системи керування установкою для сушіння кориці спрямована на підвищення якості готової продукції, зменшення енергетичних витрат та забезпечення стабільності технологічного процесу. Економічне обґрунтування включає визначення вартості технічних засобів автоматизації та загальних витрат на впровадження системи.

Для розрахунків використано ринкові ціни обладнання, наведені у переліку використаних джерел. Ціни, вказані у доларах США та фунтах стерлінгів, переведені у гривні за умовним курсом:

– 1 USD = 41,50 грн;

– 1 GBP = 56,00 грн.

До складу автоматизованої системи керування входять:

- датчики технологічних параметрів;
- модулі вводу-виводу та контролер;
- виконавчі механізми;
- блок живлення.

Розрахунок вартості датчиків та виконавчих пристроїв наведений у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Вартість технічних засобів автоматизації

№	Найменування обладнання	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	Рівнемір Siemens SITRANS LR200	1	11 039	11 039
2	Датчик температури Pt100 RTD	3	5 740	17 220
3	Датчик тиску Cerabar PMC51	1	1 245	1 245
4	Датчик вологості Vaisala HMT120	2	24 693	49 386
5	Ваговий термінал Mettler Toledo IND780	1	141 100	141 100

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 7.1

№	Найменування обладнання	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
6	Контактор Schneider Electric LC1D25BD	6	3 567,65	21 405,90
7	Частотний перетворювач Altivar ATV312	2	14 000	28 000
8	Контролер ADAM-5000L/TCP	1	24 547	24 547
9	Модуль ADAM-5017P	1	13 184	13 184
10	Модуль ADAM-5013	1	12 208	12 208
11	Модуль ADAM-5024	1	19 388	19 388
12	Модуль ADAM-5056	1	3 943	3 943
13	Блок живлення Mean Well MDR-100-24	1	1 660,50	1 660,50
	Разом:			344 326,40

Вартість обладнання визначається за формулою (7.1):

$$C_3 = \sum_{i=1}^n C_i \cdot N_i, \quad (7.1)$$

де  $C_i$  – вартість одиниці обладнання, грн;

$N_i$  – кількість одиниць обладнання.

Отже, загальна вартість технічних засобів автоматизації становить:

$$C_3 = 344326,40 \text{ грн.}$$

Окрім вартості обладнання необхідно врахувати витрати на монтаж, підключення та налагодження системи автоматизації. Орієнтовно ці витрати приймаються на рівні 15 % від вартості обладнання.

Витрати на монтаж та налагодження визначаються за формулою (7.2):

$$C_m = 0,15C_3, \quad (7.2)$$

$$C_m = 0,15 \cdot 344326,4 = 51648,96 \text{ грн.}$$

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Загальні витрати на впровадження автоматизованої системи визначаються за формулою (7.3), як сума вартості обладнання та витрат на монтаж і налагодження:

$$C_{заг} = C_з + C_м. \quad (7.3)$$

$$C_{заг} = 344326,4 + 51648,96 = 395975,36 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальна вартість впровадження автоматизованої системи керування установкою для сушіння кориці становить  $C_{заг}=395975,36$  грн.

Впровадження автоматизованої системи керування установкою для сушіння кориці забезпечує:

- зменшення енергоспоживання за рахунок оптимального керування температурою та швидкістю повітряного потоку;
- зниження кількості браку готової продукції;
- підвищення стабільності технологічного процесу;
- зменшення впливу людського фактора;
- скорочення витрат на обслуговування обладнання;
- підвищення продуктивності сушильної установки.

Автоматизоване регулювання параметрів сушіння дозволяє підтримувати оптимальні режими роботи установки та забезпечує стабільну якість продукції. Завдяки використанню сучасних датчиків і контролера ADAM-5000/TCP підвищується надійність функціонування системи та ефективність контролю технологічного процесу.

Отже, впровадження автоматизованої системи керування установкою для сушіння кориці є технічно та економічно доцільним.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

У процесі виконання роботи було вирішено наступні задачі.

Виконано аналіз об'єкта керування. У роботі розглянуто промислове сушіння кориці. Сушіння є критично важливою технологічною операцією, оскільки воно визначає кінцевий вміст вологи, структурну цілісність паличок, збереження летких ароматичних сполук, мікробіологічну безпеку та ринкову якість. Розглянуто промислове сушильне обладнання. Описано етапи промислового сушіння кориці. Визначено параметри керування установкою для сушіння на етапах початкового сушіння, проміжного сушіння та кінцевого сушіння. Визначено задачі автоматизації при керуванні установкою для сушіння кориці. Визначено вхідні, вихідні, параметри керування та збурюючі фактори, що впливають на процес та заємозв'язок між ними.

Виконано детальний опис функціональної схеми автоматизованої системи керування установкою для сушіння кориці.

Виходячи з аналізу функціональної схеми обрано такі технічні засоби автоматизації: для вимірювання рівня рідини у ванні замочування обрано радарний рівнемір Siemens SITRANS LR200; для контролю температури у ванні замочування (ТЕ 2-1), в сушильній камері (ТЕ 5-1) та на складі (ТЕ 14-1) обрано промисловий датчик температури на основі платинового терморезистора Pt100 (RTD – Resistance Temperature Detector); для вимірювання тиску повітря, що подається в сушильну камеру (позиція РЕ 4-1), обрано цифровий датчик тиску Endress+Hauser Cerabar PMC51; Для вимірювання вологості сировини в сушильній камері (МЕ 7-1) та вологості повітря на складі (МЕ 14-3) обрано перетворювач відносної вологості та температури Vaisala HMT120; Для точного зважування порцій готової продукції (позиція WE 12-1) в автоматі з ваговим дозатором обрано промисловий ваговий термінал Mettler Toledo IND780; для дистанційного керування електродвигунами технологічного обладнання обрано трипусний

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електромагнітний контактор Schneider Electric серії TeSys D, модель LC1D25BD; для плавного регулювання продуктивності насосів (насоса подачі води у ванну замочування та компресора відкачування вологи з сушильної камери) обрано частотний перетворювач Schneider Electric Altivar 312, модель ATV312HU40N4; в якості пристрою управління обрано ADAM-5000L/TCP 4-слотова розподілена система збору даних та управління на базі Ethernet. За результатами аналізу визначено наступний склад модулів вводу-виводу: один модуль аналогового вводу ADAM-5017P (для вимірювання сигналів 4-20 мА від датчиків рівня, тиску, вологості та маси), 1 модуль RTD-вводу ADAM-5013 (для підключення 3 датчиків температури Pt100), 1 модуль аналогового виводу ADAM-5024 (для керування частотними перетворювачами), 1 модуль дискретного виводу ADAM-5056 (для керування котушками контакторів 24 В DC). Усього задіяно 4 слотів з 4 наявних. Враховуючи стандартний ряд потужностей промислових блоків живлення, обирається наступна стандартна модель: Mean Well MDR-60-24 з номінальною потужністю 60 Вт.

Також була розроблена схема керування мікропроцесорними модулями.

Розроблено стратегію керування підготовки та сушіння кориці в SCADA-системі AdamView із відповідним програмним забезпеченням.

Досліджено динамічні характеристики САК методом кореневого годографа. Аналіз проведених розрахунків та отриманих результатів свідчить, що ПІ-регулятор повністю усуває сталу похибку  $\epsilon=0\%$ , забезпечуючи точне підтримання заданої температури 45 °С. Час встановлення зростає до 1000 с, що є прийнятним з огляду на тривалість етапу проміжного сушіння 12-24 години. Перерегулювання відсутнє, тому температура не перевищує допустимого максимуму 55 °С.

Було проведено розрахунки затрат, а саме вартість обладнання, транспортно-заготівельні витрати, витрати на монтажні роботи та вартість налагодження. Результати розрахунків показали, що сума необхідна для запуску автоматизованої системи керування становить 395975,36 грн.

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. How to dry spices: the solutions proposed by IFT. URL: <https://www.iftmantova.com/en/news/4070/how-to-dry-spices-the-solutions-proposed-by-ift> (дата звернення: 20.02.2026).
2. Drying of herbs and spices. URL: [https://orgprints.org/id/eprint/35090/3/Module%204.2\\_Training%20herbs.pdf](https://orgprints.org/id/eprint/35090/3/Module%204.2_Training%20herbs.pdf) (дата звернення: 20.02.2026).
3. Linshuang L., Liuping C., Dongjin P. and others. Evaluation of different drying methods on the quality of Cinnamomum cassia barks by analytic hierarchy process method. Heliyon, 2024, Volume 10, Issue 14, p. 34-60. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e34608.
4. Siemens SITRANS LR200 Radar Level Transmitter. URL: [https://www.ebay.com/itm/306643451337?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.ebay.com/itm/306643451337?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення 15.03.2026).
5. RTD PT100 Temperature Sensor, 4-20mA Transmitter. URL: <https://www.processparameters.co.uk/pt100-temperature-sensors/rtd-pt100-temperature-sensor-ip68-kne-terminal-head-4-20ma-transmitter-ppl3-p/> (дата звернення 15.03.2026).
6. Absolute and gauge pressure Cerabar PMC51. URL: <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/pressure/pressure-transmitter-cerabar-pmc51b?t.tabId=product-overview> (дата звернення 15.03.2026).
7. Humidity and Temperature Transmitters HMT120/130. URL: <https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/instruments-industrial-measurements/hmt120-130> (дата звернення 15.03.2026).
8. Weighing Terminal IND780. URL: [mt.com](https://www.mettler.com) (дата звернення 15.02.2026).

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

9. Контактор Schneider Electric LC1D25BD. URL:  
[https://octopart.com/part/schneider-electric/LC1D25BD?gad\\_source=1&gad\\_campaignid=20641106837&gbraid=0AAAAADZKcp\\_Av6JNcyKCmbqBwAlqelgzD&gclid=Cj0KCQjwILDQBhDjARIsAPllEfE\\_z7A7b\\_OqJzVNG7pmH3pOiHMj8KEbZZ7QBHubm5c\\_hkGmwx7GUMeAagcYEALw\\_wcB](https://octopart.com/part/schneider-electric/LC1D25BD?gad_source=1&gad_campaignid=20641106837&gbraid=0AAAAADZKcp_Av6JNcyKCmbqBwAlqelgzD&gclid=Cj0KCQjwILDQBhDjARIsAPllEfE_z7A7b_OqJzVNG7pmH3pOiHMj8KEbZZ7QBHubm5c_hkGmwx7GUMeAagcYEALw_wcB) (дата звернення 15.03.2026).

10. Altivar 312 Variable Frequency Drives VFD – Schneider Electric. URL:  
<https://electrocontrol.com.ua/ua/preobrazovateli-chastoty/preobrazovatel-chastoty-schneider-electric-altivar-312-atv312-22kvt-240v-1f-atv312hu22m2> (дата звернення 15.03.2026).

11. ADAM-5000/TCP. URL: [https://www.tme.eu/ua/details/adam-5000l\\_tcp-be/sistemi-ta-moduli-vvedennia-vivedennia/advantech/?brutto=0&currency=USD&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=UKRAINA%20%5BPMAX%5D%20UK&utm\\_content=&campaign\\_id=20545768065&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=20551720772&gbraid=0AAAAADyylhIgIV1p63P28eO7uuzRPWWkG&gclid=Cj0KCQjwILDQBhDjARIsAPllEfEnlQVO7EAUrfcdkpoumkqjm7BQ36aa2UsD0sNYUTUs-vAcnZBSWawaAgDfEALw\\_wcB](https://www.tme.eu/ua/details/adam-5000l_tcp-be/sistemi-ta-moduli-vvedennia-vivedennia/advantech/?brutto=0&currency=USD&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=UKRAINA%20%5BPMAX%5D%20UK&utm_content=&campaign_id=20545768065&gad_source=1&gad_campaignid=20551720772&gbraid=0AAAAADyylhIgIV1p63P28eO7uuzRPWWkG&gclid=Cj0KCQjwILDQBhDjARIsAPllEfEnlQVO7EAUrfcdkpoumkqjm7BQ36aa2UsD0sNYUTUs-vAcnZBSWawaAgDfEALw_wcB) (дата звернення 15.03.2026).

12. ADAM-5017P. URL: [https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5017p/mod\\_a45eeab2-46a3-4dc1-9052-7851c3f49582](https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5017p/mod_a45eeab2-46a3-4dc1-9052-7851c3f49582) (дата звернення 15.03.2026).

13. ADAM-5013. URL: [https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5013/mod\\_746ad359-b2b5-414f-a85f-08f66fd99d9c](https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5013/mod_746ad359-b2b5-414f-a85f-08f66fd99d9c) (дата звернення 15.03.2026).

14. ADAM-5024. URL: [https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5024/mod\\_c573b64b-843a-46d6-90a0-96031d8539c0](https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5024/mod_c573b64b-843a-46d6-90a0-96031d8539c0) (дата звернення 15.03.2026).

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

15. ADAM-5056. URL: [https://www.advantech.com/en-us/products/5cfc579f-6e33-48c3-9a90-fa6997bbdc5b/adam-5056d/mod\\_4e43775b-9438-4c04-ad6b-c98ce000eade](https://www.advantech.com/en-us/products/5cfc579f-6e33-48c3-9a90-fa6997bbdc5b/adam-5056d/mod_4e43775b-9438-4c04-ad6b-c98ce000eade) (дата звернення 15.03.2026).

16. Mean Well MDR-100-24 – 100W. URL: [https://ledbox.ua/ua/p885804575-blok-pitaniya-mean.html?source=merchant\\_center&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=17177772414&gbraid=0AAAAADoIb0cB-hnt2GFNPL49RzPaU-x86&gclid=Cj0KCQjwILDQBhDjARIsAPIIefFRXOHTTjIJlqEVjO9\\_V0iZJeV62C-PqwbgWpmQ90iynqM51mfiMxwaAlbJEALw\\_wcB](https://ledbox.ua/ua/p885804575-blok-pitaniya-mean.html?source=merchant_center&gad_source=1&gad_campaignid=17177772414&gbraid=0AAAAADoIb0cB-hnt2GFNPL49RzPaU-x86&gclid=Cj0KCQjwILDQBhDjARIsAPIIefFRXOHTTjIJlqEVjO9_V0iZJeV62C-PqwbgWpmQ90iynqM51mfiMxwaAlbJEALw_wcB) (дата звернення 15.03.2026).

17. ADAMView. URL: <https://sdindustrial.advantech.com/products/ADAMView/mod/328DB466-4B81-4652-B8AF-F5568F24A103> (дата звернення: 15.02.2026).

18. Приймак Б. І. Теорія автоматичного керування. Лінійні системи: навч. посі. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 310 с.

19. Dorf R., Bishop R. Modern control systems, Addison-Wesley. URL: [https://www.muslimuniversity.edu.af/uploads/library/Modran%20control%20System\\_904.pdf](https://www.muslimuniversity.edu.af/uploads/library/Modran%20control%20System_904.pdf) (дата звернення 20.04.2026)

20. Толочко О. І. MATLAB, Simulink, Simpowersystem. Основи програмування: навч. посіб. для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з дисципліни «Пакети прикладних програм, ч. І», спеціалізація «Системи управління виробництвом і розподілом електроенергії». КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/832b39bc-9b5e-4dc0-a8ba-fa40c783ed15/content> (дата звернення 05.03.2026).

					АтаБС-001.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

