

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: «Автоматизація процесу виробництва гофрокартону»

«Automation of the corrugated cardboard production process»

Виконав: студент 2 курсу, групи 2Ас
спеціальність 174 – «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Сокол О.П.

Керівник: к.т.н., доцент Сарафаннікова Н.В.

Рецензент

Корніловська Н.В.

(прізвище та ініціали)

Херсон – 2026 рік

	Херсонський національний технічний університет
Факультет	Інженерії та транспорту
Кафедра	Автоматизації, робототехніки і мехатроніки
Ступінь вищої освіти	бакалавр
Спеціальність	174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри автоматизації,
робототехніки і мехатронікиСеліверстов І.А.

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Соколу Олегу Павловичу

1. Тема роботи:	Автоматизація процесу виробництва гофрокартону
	Automation of the corrugated cardboard production process
керівник роботи:	к.т.н., доцент Сарафаннікова Н.В.
	затверджена наказом вищого навчального закладу від 23.01.2026 р. № 97-с
2. Строк подання студентом роботи «15» червня 2026 р.	
3. Вихідні дані до роботи:	Регламенти технологічних проектів виробництва гофрокартону
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:	
	1. Технологічні особливості та якісні характеристики гофрокартону.
	2. Технологічний процес виробництва гофрокартону.
	3. Система автоматичного керування вологістю гофрокартону.
	4. Аналіз роботи системи автоматичного керування.
	5 Охорона праці.
	Висновки. Список використаних джерел. Додаток А. Додаток В.
	Додаток Б
5. Перелік графічного матеріалу:	
	1. Технологічний процес виробництва гофрокартону. 2. Функціональна схема системи керування вологістю гофрокартону. 3. Блок-схема алгоритму автоматичного керування вологістю. 4. Електрична схема підключення програмованого логічного контролера та виконавчих механізмів системи керування вологістю. 5. Принципова електрична схема підключення перетворювача частоти Schneider Electric

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Сарафаннікова Н.В., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____ «23» січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір і огляд літератури	23.01.26.-04.03.26.	
2	Вибір власних схемо-технічних рішень	05.03.26.-15.04.26.	
3	Дослідження технологічних параметрів	16.04.26.-30.04.26.	
4	Аналіз технологічного процесу	01.05.26.-06.05.26.	
5	Розробка системи автоматичного керування	07.05.26.-17.05.26.	
6	Вибір елементної бази для роботи	18.05.26.-27.05.26.	
7	Оформлення ПЗ і графічного матеріалу	28.04.26.-15.06.26.	

Студент _____ Сокол О.П.
(підпис)

Керівник роботи _____ Сарафаннікова Н.В.
(підпис)

[illegible]

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра: 74 сторінок, 19 рисунки, 13 таблиці.
Графічна частина – 5 аркуші формату А1.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці системи автоматичного керування вологістю гофрокартону в процесі його виробництва. Актуальність теми зумовлена необхідністю забезпечення стабільної якості продукції, зниження енергетичних витрат та підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення гофрокартону.

У роботі проаналізовано технологічний процес сушіння гофрокартону та визначено основні фактори, що впливають на вологість матеріалу. Обґрунтовано вибір структури системи автоматичного керування, виконано підбір датчиків вологості, температури та швидкості руху полотна, а також виконавчих механізмів.

Розроблено функціональну схему системи керування. Для регулювання вологості застосовано ПД-регулятор, що забезпечує стабілізацію заданого рівня вологості за рахунок керування температурою сушильної секції та швидкістю руху полотна. Проведено аналіз якості автоматичного керування.

Розроблена система дозволяє підвищити точність підтримання вологості гофрокартону, зменшити кількість браку та оптимізувати енергоспоживання виробництва.

АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ, ГОФРОКАРТОН, ВОЛОГІСТЬ, ПІД-РЕГУЛЯТОР, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 РФ			
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Реферат	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Сокол О.П.					5	74
Перевір.		Сарафаннікова И.В.						
Реценз.								
Н. Контр.		Поліщук В.М.						
Затверд.		Селіверстов І.А.				ХНТУ, гр. 2Амб		

ABSTRACT

Bachelor's Thesis: 74 pages, 19 figures, 13 tables. Graphical part – 5 sheets of A1 format.

The thesis is devoted to the automatic control system for corrugated cardboard moisture during its production process. The relevance of the topic is driven by the need to ensure consistent product quality, reduce energy costs, and improve the efficiency of the corrugated cardboard manufacturing process.

The paper analyzes the technological process of drying corrugated cardboard and identifies the main factors affecting the material's moisture content. The choice of the automatic control system structure is justified, and the selection of moisture, temperature, and web speed sensors, as well as actuators, is carried out.

Functional diagrams of the control system have been developed. A PID controller is implemented to stabilize the specified moisture level by controlling the drying section temperature and the web speed. Modeling of transient processes and analysis of control quality have been performed.

The developed system allows for increased accuracy in maintaining corrugated cardboard moisture, reducing the amount of waste, and optimizing production energy consumption.

AUTOMATIC CONTROL, CORRUGATED CARDBOARD, MOISTURE,
PID CONTROLLER, PRODUCTION AUTOMATION.

					ХНТУ 174.КРМБ.26.0055 РФ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
ГОФРОКАРТОНУ	11
1.1 Сфери та переваги застосування гофрокартону	11
1.2 Вимоги до якості гофрокартону	13
1.3 Фактори, що впливають на вологість гофрокартону	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА ГОФРОКАРТОНУ	16
2.1 Опис технологічного процесу виробництва гофрокартону	16
2.2 Обґрунтування необхідності автоматичного керування вологістю	17
3 СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ	
ГОФРОКАРТОНУ	19
3.1 Опис об'єкта автоматичного керування.....	19
3.2 Розробка функціональної схеми автоматизації	21
3.3 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації.....	23
3.4 Розробка алгоритму автоматичного керування вологістю.....	44
3.5 Реалізація системи керування в Siemens TIA Portal (WinCC).....	50
4 АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ	57
4.1 Аналіз режимів роботи системи	57
4.2 Аналіз аварійних ситуацій та захистів	59
4.3 Оцінка ефективності автоматичного керування	60
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	62
5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів	62
5.2 Заходи з охорони праці, пожежна та електробезпека.....	64
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

Додаток А

ОГОЛОШЕННЯ ЗМІННИХ (VAR-блок) ДЛЯ ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ
ВОЛОГІСТЮ

Додаток Б

ОСНОВНА ЛОГІКА ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ (SCL)

Додаток В

ТАБЛИЦЯ ОПИСУ ЗМІННИХ ПРОГРАМИ

Додаток Г

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА ГОФРОКАРТОНУ

Додаток Д

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ
ГОФРОКАРТОНУ

Додаток Е

БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ
ВОЛОГІСТЮ ГОФРОКАРТОНУ

Додаток Ж

ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО
КОНТРОЛЕРА ТА ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ВОЛОГІСТЮ

Додаток З

ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ
ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ SCHNEIDER ELECTRIC ALTIVAR
ATV340D45N4E.

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		8

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний (регулятор)

TIA – totally integrated automation

ПЛК – програмований логічний контролер

NIR – near infra-red (ближній інфрачервоний діапазон)

NPR – номінальна робоча потужність двигуна

NCR – номінальний струм двигуна

ACC – час розгону (acceleration time)

IBR – internal braking resistor (вбудований гальмівний резистор)

HMI – human-machine interface

SCL – structured control language (структурована мова керування)

ВСТУП

Виробництво гофрокартону є складним технологічним процесом, у якому якість готової продукції значною мірою залежить від стабільності основних параметрів технології виготовлення гофрокартону. Одним із найважливіших показників якості гофрокартону є його вологість, яка безпосередньо впливає на міцність, жорсткість, геометричну стабільність та експлуатаційні властивості пакувальної продукції.

Під час виробництва гофрокартону вологість матеріалу змінюється під впливом багатьох факторів, зокрема температури сушіння, швидкості руху полотна, вологості навколишнього середовища, характеристик паперу та параметрів клею виготовленого на підприємстві. За відсутності автоматичного керування можливі відхилення вологості від допустимих значень, що призводить до зниження якості готової продукції, може з'явитись брак та призвести до збільшення виробничих витрат.

Застосування системи автоматичного керування вологістю гофрокартону дозволяє забезпечити стабільну якість готової продукції, зменшити вплив людського фактору, підвищити ефективність використання енергоресурсів та покращити керованість технологічного процесу в цілому. Особливо актуальним є впровадження таких систем на основі сучасних програмно-технічних засобів, зокрема інтегрованої інженерної платформи Siemens TIA Portal (WinCC), що об'єднує керування програмованих логічних контролерів та засоби візуалізації.

В цій кваліфікаційній роботі розглядається система автоматичного керування вологістю гофрокартону з використанням програмованого логічного контролера та інженерної платформи Siemens TIA Portal (WinCC). Робота спрямована на розробку функціональної структури системи, вибір технічних засобів автоматизації, розробку алгоритму керування та аналіз ефективності запропонованого рішення.

1 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОФРОКАРТОНУ

1.1 Сфери та переваги застосування гофрокартону

Гофрокартон за рис. 1.1 є одним із найбільш поширених матеріалів для виготовлення транспортної та споживчої упаковки в сучасній промисловості. Його широке застосування обумовлене поєднанням високих фізико-механічних характеристик, відносно малої маси, економічності виробництва та відповідності сучасним екологічним вимогам. У структурі пакувальних матеріалів гофрокартон займає провідні позиції завдяки універсальності, технологічності та можливості адаптації до різних умов експлуатації.



Рис. 1.1 – Тришаровий гофрокартон

Конструктивно гофрокартон являє собою багат шаровий композиційний матеріал, що складається з одного або кількох плоских шарів картону та одного або кількох гофрованих шарів, розміщених між ними [1]. Хвиляста структура внутрішнього шару забезпечує підвищену жорсткість і стійкість до стискання при незначному збільшенні маси матеріалу. Залежно від кількості шарів розрізняють двошаровий, тришаровий, п'ятишаровий та семишаровий гофрокартон. Збільшення кількості шарів сприяє підвищенню міцності, що дозволяє використовувати матеріал для пакування продукції різної маси та габаритів.

Гофрокартон широко застосовується у харчовій промисловості для пакування овочів, фруктів, напоїв, кондитерських виробів та іншої продукції. У цьому випадку матеріал повинен відповідати санітарно-гігієнічним вимогам та забезпечувати збереження якості продукції під час транспортування і зберігання [24-25]. У машинобудуванні, електронній та побутовій промисловості гофрокартон використовується для виготовлення транспортної тари, яка захищає вироби від механічних пошкоджень, ударів і вібрацій. У сфері логістики та складського господарства матеріал застосовується для виготовлення коробок, контейнерів і групової тари, що дозволяє оптимізувати витрати на транспортування та забезпечити зручність складування. Значного поширення гофрокартон набув у сфері електронної комерції, де він використовується для пакування товарів, що доставляються кінцевому споживачу. Крім того, матеріал застосовується у поліграфії, рекламній діяльності, меблевій та будівельній галузях як захисний або амортизуючий елемент.

До основних переваг гофрокартону належать висока міцність при малій масі, здатність поглинати ударні навантаження, технологічність обробки та економічна доцільність виробництва. Хвиляста структура гофрованого шару забезпечує ефективний розподіл механічного навантаження, що підвищує стійкість матеріалу до стискання. Амортизаційні властивості дозволяють

мінімізувати пошкодження продукції під час транспортування. Важливою перевагою є екологічність матеріалу, оскільки він виготовляється переважно з целюлози та вторинної сировини, підлягає переробці та відповідає сучасним вимогам щодо зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Простота технологічної обробки забезпечує можливість різання, штампування, склеювання та нанесення друку, що розширює сферу застосування матеріалу.

Однією з важливих характеристик гофрокартону є його вологість, яка безпосередньо впливає на фізико-механічні властивості та експлуатаційні показники. Підвищена вологість призводить до зниження міцності та втрати жорсткості, тоді як недостатня вологість може спричиняти крихкість матеріалу. Підтримання оптимального рівня вологості є необхідною умовою забезпечення стабільної якості продукції, що обґрунтовує доцільність впровадження автоматизованих систем контролю та регулювання у виробництві гофрокартону.

1.2 Вимоги до якості гофрокартону

Якість гофрокартону визначається сукупністю фізико-механічних та експлуатаційних показників, які повинні відповідати встановленим стандартам і технічним умовам. До основних показників якості гофрокартону належать міцність на стискання, жорсткість, опір розшаруванню, геометрична стабільність, а також вологість матеріалу [23].

Вологість гофрокартону є одним з ключових параметрів, що безпосередньо впливає на його механічні властивості та здатність зберігати форму під час транспортування і експлуатації. За підвищеної вологості зменшується міцність матеріалу, погіршується адгезія між шарами та зростає ризик деформації. У разі недостатньої вологості гофрокартон стає крихким, можливе утворення тріщин та ламкість при механічних навантаженнях.

Згідно з технологічними вимогами, оптимальна вологість готового гофрокартону зазвичай знаходиться в межах 6–9 %. Допустимі відхилення від заданого значення не повинні перевищувати ± 1 %, оскільки більші коливання призводять до погіршення якості продукції та збільшення кількості браку.

Важливим фактором є рівномірність розподілу вологості по ширині та довжині полотна. Нерівномірна вологість спричиняє внутрішні напруження в матеріалі, що може призвести до короблення листів гофрокартону після виходу з сушильної секції. Тому система контролю вологості повинна забезпечувати не лише підтримання середнього значення, а й стабільність параметра в часі.

На показники вологості гофрокартону впливають такі технологічні параметри:

- температура сушіння;
- тривалість перебування матеріалу в сушильній зоні;
- швидкість руху полотна;
- вологість навколишнього повітря;
- властивості паперової сировини та клейового складу.

Дотримання оптимального рівня вологості гофрокартону дозволяє забезпечити стабільну якість продукції, зменшити кількість технологічних відмов та підвищити ефективність роботи виробничої лінії. У зв'язку з цим автоматичне керування вологістю є важливою складовою сучасних систем автоматизації виробництва гофрокартону.

1.3 Фактори, що впливають на вологість гофрокартону

Вологість гофрокартону в процесі виробництва формується під впливом комплексу технологічних та зовнішніх факторів. Ці фактори мають змінний характер і можуть виступати як керовані, так і некеровані збурення, що

ускладнює забезпечення стабільної якості готової продукції без застосування систем автоматичного керування.

Одним із основних факторів, що впливають на вологість гофрокартону, є температура сушіння. Підвищення температури сприяє інтенсивнішому випаровуванню вологи з матеріалу, тоді як зниження температури може призвести до недостатнього сушіння. Нерівномірність температурного поля в сушильній секції викликає неоднакову вологість по ширині полотна.

Важливим технологічним параметром є швидкість руху гофрокартонного полотна. За збільшення швидкості зменшується час перебування матеріалу в сушильній зоні, що може спричинити підвищену залишкову вологість. Зменшення швидкості, навпаки, може призвести до пересушування гофрокартону та погіршення його механічних властивостей.

Суттєвий вплив на вологість гофрокартону має вологість навколишнього середовища на виробництві. Зміни мікроклімату, особливо в холодну або вологу пору року, призводять до додаткових коливань вологості матеріалу навіть за стабільних технологічних режимів. Також на вологість готового гофрокартону впливають властивості паперової сировини. Різні партії паперу можуть мати відмінні характеристики, що створює додаткові збурення в процесі сушіння.

Окрему роль відіграє клейовий склад, який використовується для з'єднання шарів гофрокартону. Кількість нанесеного клею та його вологість безпосередньо впливають на загальний баланс вологи в матеріалі. Зміна рецептури клею або режимів його нанесення може викликати відхилення вологості від заданих значень.

Отже, вологість гофрокартону є параметром, що залежить від багатьох взаємопов'язаних факторів, більшість з яких мають змінний характер. Це обумовлює необхідність застосування системи автоматичного керування, здатної компенсувати вплив зовнішніх і внутрішніх збурень та забезпечувати підтримання оптимального рівня вологості готової продукції.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА ГОФРОКАРТОНУ

2.1 Опис технологічного процесу виробництва гофрокартону

Виробництво гофрокартону є безперервним технологічним процесом за рис. 2.1, що складається з ряду послідовних операцій, у ході яких плоскі шари паперу та гофрований шар з'єднуються між собою за допомогою клейового складу з подальшим сушінням і формуванням готового матеріалу.

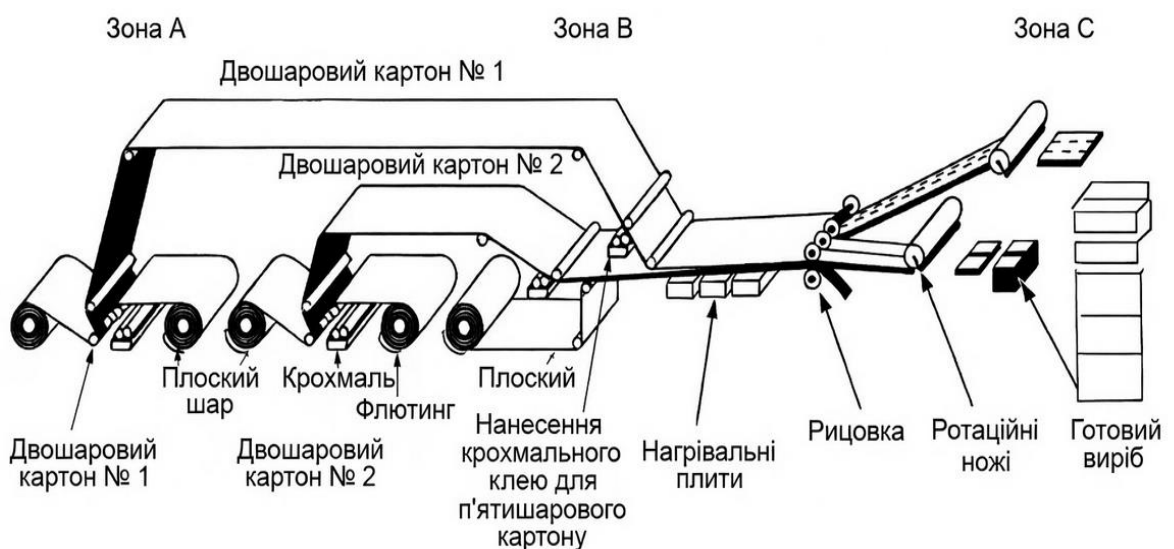


Рис. 2.1 – Технологічний процес виробництва гофрокартону

Основною сировиною для виробництва гофрокартону є папір для плоских шарів (лайнер) та папір для гофрування (флютинг). Папір у рулонах подається до гофроагрегату, де проходить етап попереднього підігріву. На цьому етапі папір нагрівається за допомогою парових підігрівачів, що забезпечує необхідну пластичність матеріалу та впливає на його початкову вологість. Далі папір для гофрування подається до гофрувального вузла, де за допомогою гофрувальних валів формується хвилястий профіль. У процесі гофрування папір зазнає механічного впливу та додаткового нагріву, що супроводжується частковим

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

випаровуванням вологи. На сформований гофр наноситься крохмальний клей, після чого він з'єднується з плоским шаром паперу.

На наступному етапі відбувається формування багатошарового гофрокартону шляхом приклеювання другого плоского шару. Після склеювання матеріал проходить сушильну секцію, де здійснюється остаточне видалення надлишкової вологи. Сушіння є одним з найважливіших етапів виробництва, оскільки саме на цій стадії формується кінцева вологість гофрокартону.

Сушильна секція, як правило, складається з нагрівальних плит, системи подачі пари, а також транспортного механізму, що забезпечує рух полотна з заданою швидкістю. Температура сушіння та тривалість перебування матеріалу в зоні нагріву істотно впливають на вологість готового гофрокартону. Недостатнє сушіння призводить до підвищеної вологості та зниження міцності, тоді як надмірне сушіння викликає пересушування матеріалу та його деформацію.

Після сушіння гофрокартон охолоджується, вирівнюється та подається на подальші операції різання і формування заготовок. На цьому етапі важливо забезпечити стабільність вологості, оскільки її коливання можуть спричинити викривлення листів та погіршення геометричних параметрів продукції.

Тож, технологічний процес виробництва гофрокартону характеризується наявністю декількох стадій, на яких відбувається зміна вологості матеріалу. Це обумовлює необхідність впровадження системи автоматичного керування, яка дозволяє підтримувати оптимальний рівень вологості гофрокартону та забезпечувати високу якість готової продукції.

2.2 Обґрунтування необхідності автоматичного керування вологістю

Забезпечення стабільної вологості гофрокартону є однією з головних умов отримання якісної продукції [2-4]. У сучасному виробництві гофрокартону ручне або напівавтоматичне керування технологічними

параметрами не дозволяє оперативно реагувати на зміну умов процесу, що призводить до значних відхилень вологості від допустимих значень.

Процес формування вологості гофрокартону характеризується наявністю численних збурюючих впливів, зокрема зміною швидкості руху полотна, температури сушіння, вологості навколишнього середовища та властивостей сировини. За таких умов оператор не має можливості забезпечити необхідну точність і швидкодію керування, що збільшує ймовірність появи браку та зниження якості готової продукції.

Автоматичне керування вологістю гофрокартону дозволяє здійснювати безперервний контроль параметра в реальному часі та автоматично коригувати керуючі впливи залежно від поточного стану технологічного процесу. Застосування програмованих логічних контролерів забезпечує реалізацію алгоритмів регулювання з необхідною точністю та стабільністю, а використання інженерної платформи Siemens TIA Portal (WinCC) дозволяє здійснювати візуалізацію процесу, ведення архівів та оперативний аналіз роботи системи.

Впровадження системи автоматичного керування вологістю сприяє підвищенню якості гофрокартону, зменшенню кількості бракованої продукції та зниженню витрат на енергоресурси за рахунок оптимізації режимів сушіння. Крім того, автоматизація процесу зменшує вплив людського фактору та підвищує надійність і повторюваність технологічних режимів.

З огляду на це, впровадження системи автоматичного керування вологістю гофрокартону є технічно та економічно доцільним рішенням, що відповідає сучасним вимогам до автоматизації промислових виробництв і забезпечує підвищення ефективності роботи гофроагрегату.

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		18

3 СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ ГОФРОКАРТОНУ

3.1 Опис об'єкта автоматичного керування

Об'єктом автоматичного керування в даній кваліфікаційній роботі бакалавра є процес формування та підтримання вологості гофрокартону в сушильній секції гофроагрегату. Основним завданням системи автоматичного керування є забезпечення стабільного значення вологості готового гофрокартону на заданому рівні незалежно від змін технологічних та зовнішніх умов [5].

Сушильна секція гофроагрегату за рис. 3.1 являє собою технологічний об'єкт з розподіленими параметрами, у якому відбувається інтенсивний тепло та масообмін між гофрокартонним полотном і навколишнім середовищем. У процесі сушіння відбувається випаровування води з матеріалу під дією підвищеної температури та циркуляції повітря, що призводить до зміни вологості гофрокартону.



Рис. 3.1 – Сушильна секція гофроагрегату

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ

Арк.

19

Регульованою величиною в системі автоматичного керування є вологість гофрокартону на виході із сушильної секції, яка вимірюється у відсотках. Заданим значенням регульованої величини є оптимальний рівень вологості, що визначається технологічними вимогами до якості продукції.

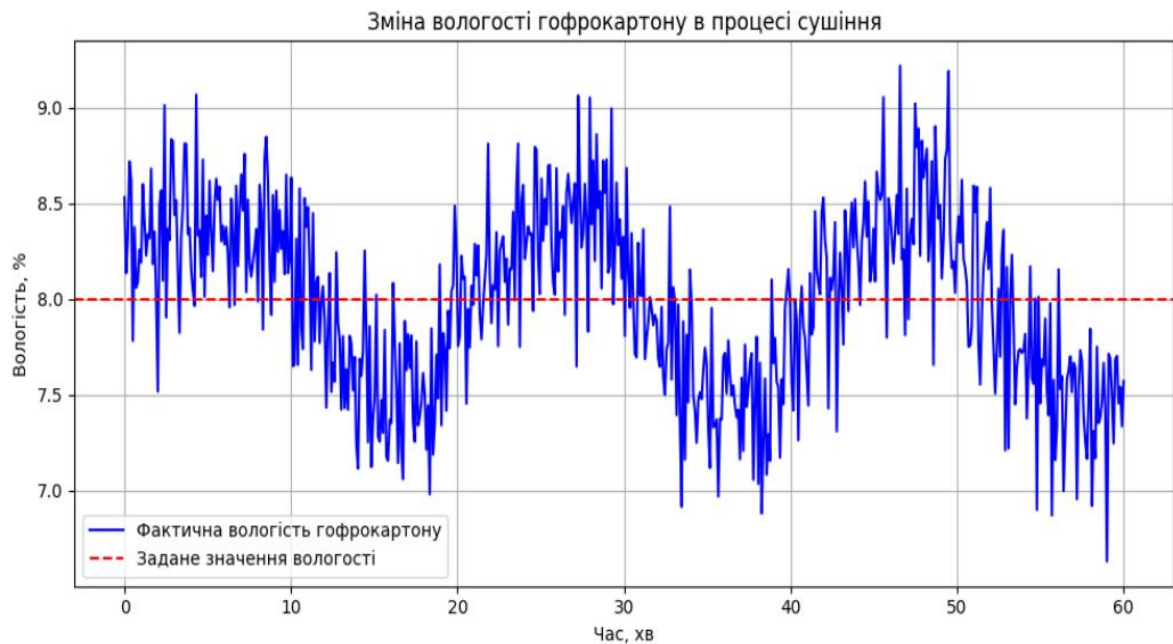


Рис. 3.2 – Графік зміни вологості гофрокартону в процесі сушіння

Графік показує за рис. 3.2, як система автоматичного регулювання реагує на коливання та збурення, підтримуючи вологість близько до оптимальної.

Керуючими впливами на об'єкт автоматичного керування можуть виступати:

- температура сушіння, яка змінюється шляхом регулювання подачі пари або електричної потужності нагрівальних елементів;
- швидкість руху гофрокартонного полотна через сушильну секцію;

Збурюючими впливами є фактори, що не підлягають безпосередньому керуванню з боку системи автоматизації, але суттєво впливають на процес сушіння.

До них належать:

- зміна початкової вологості паперової сировини;
- коливання вологості та температури навколишнього середовища;
- зміна кількості та складу клейового розчину;
- нестабільність теплових характеристик обладнання.

Об'єкт автоматичного керування характеризується інерційністю та наявністю запізнення, що пов'язано з часом перебування гофрокартону в сушильній зоні. Це необхідно враховувати при виборі типу регулятора та налаштуванні параметрів системи автоматичного керування [7].

Процес сушіння гофрокартону є складним об'єктом автоматичного керування, для якого доцільним є застосування системи автоматичного регулювання з використанням програмованого логічного контролера та інженерної платформи Siemens TIA Portal (WinCC) для забезпечення стабільної якості продукції.

3.2 Розробка функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації системи керування вологістю гофрокартону за рис. 3.3 і відображає склад технічних засобів, їх взаємозв'язок та принцип роботи системи в цілому. Система побудована за ієрархічним принципом і включає польовий рівень, рівень керування та рівень диспетчерського контролю.

На польовому рівні розміщені первинні вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми, які безпосередньо взаємодіють з технологічним процесом. За технологічним процесом виробництва гофрокартону в сушильній секції температура підтримується в діапазоні 160–180 °С. Вологість готового

гофрокартону на виході з лінії повинна становити 6–9 %. Швидкість руху полотна зазвичай знаходиться в межах 150–300 м/хв.

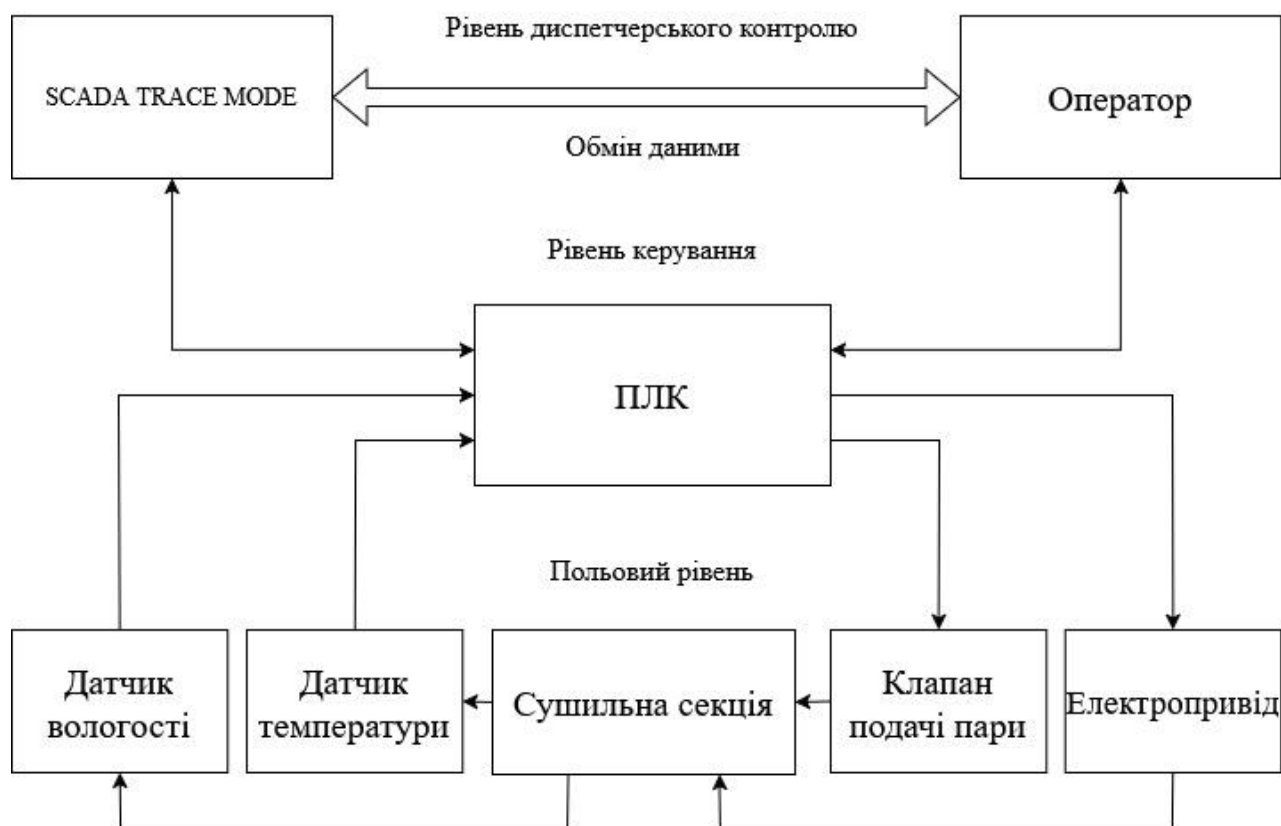


Рис. 3.3 – Функціональна схема системи керування вологістю гофрокартону

Для вимірювання вологості гофрокартону застосовується датчик вологості безконтактного типу, встановлений на виході сушильної секції. Додатково в системі використовується датчик температури сушіння що забезпечує контроль теплового режиму процесу.

До виконавчих механізмів належать регулюючі клапани подачі пари сушильної секції, а також привід транспортного механізму, що забезпечує регулювання швидкості руху гофрокартонного полотна. Керування виконавчими механізмами здійснюється за допомогою електричних сигналів від програмованого логічного контролера.

Рівень керування представлений програмованим логічним контролером (ПЛК), який виконує функції збору та обробки інформації з датчиків, формування керуючих впливів та реалізації алгоритму автоматичного регулювання вологості. У програмовано логічному контролері реалізовано ПІД-регулятор, що забезпечує підтримання заданого значення вологості шляхом зміни температури сушіння або швидкості руху полотна.

На рівні диспетчерського контролю для візуалізації технологічного процесу та оперативного керування лінією використано систему WinCC, інтегровану в єдине інженерне середовище Siemens TIA Portal. Дане програмне забезпечення виконує функції SCADA/HMI-рівня, забезпечуючи моніторинг параметрів вологості, ведення тривог (Alarms) та архівацію даних регулювання.

Обмін інформацією між рівнями системи здійснюється за допомогою стандартних промислових інтерфейсів зв'язку. Функціональна схема передбачає зворотній зв'язок за вологістю гофрокартону, що є необхідною умовою реалізації системи автоматичного регулювання [9-11].

Розроблена функціональна схема автоматизації забезпечує безперервний контроль та керування процесом сушіння гофрокартону, що дозволяє підтримувати оптимальний рівень вологості та підвищувати якість готової продукції.

3.3 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації

Для побудови системи автоматичного керування вологістю гофрокартону необхідно підібрати технічні засоби автоматизації, які забезпечують надійне вимірювання, регулювання та моніторинг параметрів технологічного процесу [8]. Вибір пристроїв базується на точності, швидкодії та наявності інтерфейсів для інтеграції з ПЛК і інженерної платформи Siemens TIA Portal (WinCC).

Вимірювальні датчики (польовий рівень)

- Датчики вологості — це вимірювальні прилади, призначені для визначення вмісту води в матеріалах або в повітрі. В автоматизованих технологічних процесах вони використовуються для контролю та підтримання оптимальних параметрів виробництва. Принцип роботи датчиків вологості ґрунтується на зміні фізичних властивостей матеріалу або середовища залежно від кількості води.

Існує декілька основних типів датчиків вологості: контактні та безконтактні. Контактні датчики здійснюють вимірювання шляхом безпосереднього контакту з матеріалом і зазвичай працюють на основі зміни електричного опору або ємності. Безконтактні датчики див. табл. 3.1, зокрема інфрачервоні, визначають вологість за допомогою аналізу відбитого або поглиненого випромінювання, що дозволяє проводити вимірювання без механічного контакту з об'єктом.

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця технічних характеристик промислових датчиків вологості для систем автоматичного керування

Датчик	Принцип вимірювання	Точність	Виходи / Інтерфейси	Призначення
Industrial NIR On-Line Moisture Sensor	Near-Infrared (безконтакт)	$\sim \pm 0.1\%$ (KPM Analytics)	4–20 mA, 0–10 V, RS-232, RS-485, Modbus, ProfiBus/ProfiNet (KPM Analytics)	Промислове безконтактне онлайн-вимірювання вологості матеріалу на стрічці у виробництві
NIR Online Grains/Chemical Raw Materials Moisture Sensor	Near-Infrared (NIR)	$\sim \pm 0.1\%$ (Sensortech Systems Europe BV)	Основні: 4–20 mA, Ethernet TCP/IP; можуть бути Profibus, Modbus тощо (Sensortech Systems Europe BV)	Онлайн-датчик вологості для широкого спектра матеріалів (папір, картон, гофрокартон)
NIR Online Moisture Sensor Analyzer	Near-Infrared (безконтакт)	$\sim \pm 0.1\%$ (KPM Analytics)	Аналогові 4–20 mA, цифрові (Modbus/RS485) (KPM Analytics)	Онлайн-аналізатор для автоматичного контролю вологості в виробництві

У промислових системах автоматизації датчики вологості передають отримані дані до програмованого логічного контролера у вигляді аналогового сигналу (наприклад, 4–20 мА) або цифрового сигналу. Ці дані використовуються системою керування для регулювання технологічних параметрів, що дозволяє забезпечити стабільну якість продукції та ефективність виробничого процесу.

Для автоматичної виробничої лінії гофрокартону обрано безконтактний NIR-датчик вологості Industrial NIR On-Line Moisture Sensor [27] за рис. 3.4, а його технічні характеристики див. табл. 3.2. Він забезпечує високу точність вимірювань ($\sim \pm 0.1\%$), безконтактний онлайн-режим та має промислові інтерфейси (4–20 мА, Modbus/RS-485) для інтеграції з програмовано логічним контролером та Siemens TIA Portal (WinCC).



Рис. 3.4 – Датчик вологості Industrial NIR On-Line Moisture Sensor

Це дозволяє автоматично передавати дані до системи керування та реалізувати ПІД-регулювання вологості в реальному часі.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики датчика вологості Industrial NIR On-Line Moisture Sensor

Параметр	Значення
Модель №	СУ-400
Тип	Індукційний вологомір
Метод аналізу	Фізичний аналіз
Дисплей	Цифровий
Портативність	Непортативний (стаціонарний)
Тип фізичного аналізу	Метод дистиляційного розшарування
Тип хімічного аналізу	Толуольний метод
Режим роботи	Клавіатура
Режим нагріву	Ступінчастий нагрів
Режим вимкнення	Автоматичний
Діапазон вимірювання	0-99%
Роздільна здатність	0.01%
Відстань вимірювання	20-40 см
Діаметр світлової плями	10 мм
Електроживлення	АС 220V 50Hz
Специфікація (Розміри)	75см * 65см * 70см
Торгова марка	СΥΕΕΥΟ
Походження	Шаньдун (Китай)
Код ТН ЗЕД (HS Code)	9027500090
Виробнича потужність	100

- Датчики температури — це вимірювальні прилади, призначені для визначення температури різних середовищ, матеріалів або поверхонь у

технологічних процесах. Вони широко використовуються в автоматизованих системах керування для контролю та підтримання необхідних температурних режимів у виробництві.

Принцип роботи датчиків температури базується на зміні фізичних властивостей матеріалів під впливом температури. Найбільш поширеними є терморезистивні датчики див. табл. 3.3, термопари та напівпровідникові датчики. Вони перетворюють зміну температури у електричний сигнал, який може бути оброблений системою керування.

Таблиця 3.3 – Порівняльна таблиця технічних характеристик промислових датчиків температури для систем автоматичного керування

Виробник / Модель	Тип датчика	Діапазон вимірювання	Точність	Вихідний сигнал	Переваги	Недоліки
WIKA TR10	Терморезистивний (Pt100)	-50...+250 °C	Висока (клас А або В)	Опір / 4-20 мА через перетворювач	Висока точність, надійність, промисловий стандарт	Вища ціна
Siemens SITRANS TS500	Терморезистивний (Pt100)	-50...+400 °C	Висока	Опір / 4-20 мА	Хороша сумісність з системами автоматизації Siemens	Потребує перетворювача сигналу
Endress+Hauser iTHERM TM411	Терморезистивний (Pt100)	-50...+600 °C	Дуже висока	4-20 мА / HART	Дуже надійний, широкий діапазон температур	Висока вартість

У промислових системах автоматизації датчики температури підключаються до програмованих логічних контролерів і передають інформацію у вигляді аналогового або цифрового сигналу. Отримані дані

Для контролю температури у сушильній секції виробництва гофрокартону обрано Siemens SITRANS TS500 Series Temperature Transmitter 4-20ma Integrated Pt100 за рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Датчик температуры Siemens SITRANS TS500 Series
Temperature Pt100

Даний датчик технічні характеристики див. табл. 3.4, належить до промислових терморезистивних датчиків температури типу Pt100, які широко використовуються в системах автоматизації технологічних процесів.

Датчики серії SITRANS TS [28]. призначені для вимірювання температури в різних промислових середовищах і мають модульну конструкцію, що дозволяє використовувати різні типи вимірювальних елементів та передавачів сигналу. Вони можуть оснащуватися вбудованими перетворювачами сигналу та застосовуватися у складних умовах виробництва.

Вибір цього датчику дозволяє забезпечити точний та надійний контроль температури у процесі виробництва гофрокартону. Інтеграція датчика з ПЛК і Siemens TIA Portal (WinCC) забезпечує ефективний моніторинг, візуалізацію та управління процесом у реальному часі.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики датчика температури Siemens SITRANS TS500 Series Temperature Pt100

Параметр	Опис / Значення
Тип сенсора	Термометр опору (RTD) або Термопара (TC)
Чутливий елемент	Pt100 (тонкоплівковий або дротяний), Термопари типів K, J, N, E, L, T
Діапазон вимірювання	-196 +600 (для Pt100); -270 +1100 (для TC)
Клас точності	RTD: Клас B, A, AA (згідно з ІЕС 60751); TC: Клас 1, 2 (згідно з ІЕС 60584)
Схема підключення	2, 3 або 4-провідна (для RTD)
Матеріали захисної гільзи	Нержавіюча сталь 316L (1.4404), 316Ti (1.4571), Hastelloy C-276 та інші
Тип захисної гільзи	Трубна (зварна) або суцільноточена (Barstock)
З'єднувальна головка	Алюміній або нержавіюча сталь (типи BA0, BB0, BC0, AG0)
Вихідний сигнал	Прямий (Ohm/mV) або через трансмітер (4 20 мА, HART, PROFIBUS PA, FF)
Ступінь захисту	IP65 (стандарт), опціонально до IP68
Вибухозахист (Ex)	ATEX, IECEx: Ex i, Ex d, Ex nA, Ex t
Додаткові опції	Вбудований РК-дисплей, подовжувач для термоізоляції, вібростійке виконання

Датчики швидкості руху полотна призначені для вимірювання швидкості переміщення матеріалу у технологічних виробничих лініях. У виробництві гофрокартону такі датчики використовуються для контролю швидкості транспортування полотна через різні секції лінії, зокрема через сушильну та формувальну зони. Підтримання стабільної швидкості руху матеріалу є важливим для забезпечення рівномірного сушіння та необхідної якості готової продукції.

Найчастіше для вимірювання швидкості застосовують інкрементальні енкодери див. табл. 3.5, тахогенератори або датчики обертання, які встановлюються на валу транспортного механізму або конвеєра. Вони перетворюють механічний рух у електричні імпульси або аналоговий сигнал, що пропорційний швидкості обертання. Отриманий сигнал передається до програмованого логічного контролера, де використовується для контролю та регулювання швидкості руху полотна.

Застосування датчиків швидкості дозволяє забезпечити стабільну роботу виробничої лінії, синхронізувати роботу обладнання та підвищити ефективність автоматизованої системи керування технологічним процесом.

Таблиця 3.5 – Порівняльна таблиця технічних характеристик датчиків швидкості руху полотна

Виробник / Модель	Тип датчика	Діапазон швидкості	Живлення	Вихідний сигнал	Ступінь захисту	Особливості
SICK DFS60	Інкрементальний енкодер	до 9000 об/хв	5–24 В	імпульсний (А, В, Z)	IP65–IP67	висока точність, надійність у промислових умовах
Omron E6B2-CWZ6C	Інкрементальний енкодер	до 6000 об/хв	5–24 В	NPN імпульсний	IP50	компактний, широко застосовується у промислових системах
Baumer EIL580	Інкрементальний енкодер	до 6000 об/хв	5–30 В	HTL / TTL	IP65	висока роздільна здатність, стабільність сигналу

Для вимірювання швидкості руху полотна у виробничій лінії доцільно використати інкрементальний енкодер Omron E6B2-CWZ6C за рис. 3.6. Даний датчик забезпечує точне визначення швидкості обертання валу транспортного механізму та дозволяє визначати швидкість переміщення матеріалу по виробничій лінії [29].

Енкодер має високу точність вимірювання, стабільну роботу та просту інтеграцію з програмованими логічними контролерами завдяки імпульсному вихідному сигналу. Крім того, він широко застосовується у промислових системах автоматизації, що підтверджує його надійність та ефективність у роботі.

Отже, використання Omron E6B2-CWZ6C технічні характеристики якого див. табл. 3.6, дозволяє забезпечити стабільний контроль швидкості руху полотна, синхронізувати роботу обладнання виробничої лінії та підвищити ефективність автоматизованої системи керування технологічним процесом.



Рисунок 3.6 – Датчик швидкості руху Omron E6B2-CWZ6C

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики датчика швидкості руху Omron E6B2-CWZ6C

Параметр	Значення
Тип датчика	Інкрементальний оптичний енкодер
Виробник	Omron
Діаметр корпусу	40 мм
Тип валу	6 мм
Живлення	5–24 В DC
Споживаний струм	до 80 мА
Тип виходу	NPN open collector
Вихідні сигнали	A, B, Z
Роздільна здатність	20–2000 імпульсів на оберт (залежно від моделі)
Максимальна частота сигналу	до 100 кГц
Довжина кабелю	0.5–2 м
Тип монтажу	Монтаж на вал
Ресурс роботи	до 100 млн обертів

Виконавчі механізми (польовий рівень)

- Клапани подачі пари є важливими виконавчими механізмами в системах автоматизації технологічних процесів. Вони призначені для регулювання або перекриття потоку пари, що подається до технологічного обладнання, зокрема до сушильних секцій виробничих ліній. Зміна положення клапана дозволяє змінювати витрату пари та відповідно регулювати температуру або інші параметри технологічного процесу.

У автоматизованих системах керування клапани подачі пари див. табл. 3.7 працюють у поєднанні з електричними або пневматичними приводами.

Керуючий сигнал надходить від програмованого логічного контролера, після чого виконавчий механізм змінює ступінь відкриття клапана. Це дозволяє точно регулювати подачу пари відповідно до заданих параметрів технологічного процесу.

Застосування клапанів подачі пари у системах автоматизації забезпечує стабільну роботу обладнання, ефективне використання енергоресурсів та підтримання необхідних технологічних режимів у виробництві.

Таблиця 3.7 – Порівняльна таблиця технічних характеристик клапанів подачі пари

Виробник / Модель	Тип клапана	Робоча температура	Робочий тиск	Тип приводу	Сигнал керування	Переваги
Siemens VVF4	Регулюючий клапан	до 220 °С	до 16 бар	Електропривід	0–10 В / 4–20 мА	висока точність регулювання
Danfoss VFM2	Регулюючий клапан	до 200 °С	до 25 бар	Електропривід	0–10 В / 4–20 мА	надійність та довгий ресурс
Spirax Sarco KE73	Регулюючий клапан	до 250 °С	до 25 бар	Пневмопривід	4–20 мА	спеціально для парових систем

Для регулювання подачі пари у сушильну секцію виробництва гофрокартону доцільно застосувати регулюючий клапан Siemens VVF43 за рис. 3.7. Даний клапан призначений для точного керування витратою теплоносія в системах автоматизації технологічних процесів та широко використовується у промислових установках, де необхідно підтримувати стабільні температурні режими.

Клапан Siemens VVF43 технічні характеристики якого див. табл. 3.8 характеризується високою надійністю, міцною конструкцією та здатністю працювати при підвищених температурах і тиску, що є важливим для парових систем. Завдяки можливості використання електроприводу та стандартних

сигналів керування, таких як 0–10 В або 4–20 мА, він легко інтегрується у сучасні автоматизовані системи керування на базі програмованих логічних контролерів і SCADA-систем.

Впровадження даного клапана у системі керування дозволяє забезпечити точне регулювання подачі пари до сушильної секції, стабілізувати температурний режим та підтримувати необхідний рівень вологості гофрокартону. Це сприяє підвищенню ефективності роботи технологічної лінії, покращенню якості готової продукції та надійності роботи автоматизованої системи керування.



Рис. 3.7 – Регулюючий клапан Siemens VVF43

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики регулюючого клапану Siemens VVF43

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		34

Параметр	Значення
Тип клапана	Двохходовий регулюючий клапан
Виробник	Siemens
Серія	Acvatix VVF43
Тип приєднання	Фланцеве
Номінальний тиск	PN16
Робоче середовище	вода, гаряча вода, теплоносій, насичена та перегріта пара
Діапазон температури середовища	-20...+220 °C
Номінальний хід штока	40 мм
Характеристика регулювання	рівновідсоткова або лінійна
Діапазон регулювання	>100
Допустимий робочий тиск	до 1600 кПа
Герметичність	0...0,01 % від Kvs
Матеріал корпусу	високоміцний чавун EN-GJS-400-18-LT
Матеріал внутрішніх елементів	нержавіюча сталь
Діаметр умовного проходу	DN 65 – DN 250
Коефіцієнт пропускної здатності Kvs	63 – 630 м ³ /год (залежно від моделі)

• Привід транспортного механізму є важливим елементом виробничої лінії, який забезпечує переміщення матеріалу між технологічними ділянками. У виробництві гофрокартону привід використовується для руху сушильного сукна, конвеєрних стрічок або роликів транспортерів, що переміщують картонне полотно через різні стадії обробки, зокрема формування, сушіння та різання.

Як правило, привод транспортного механізму складається з електродвигуна, редуктора та системи керування швидкістю. Електродвигун див. табл. 3.9 створює обертальний рух, який через редуктор передається на транспортний механізм. Для забезпечення точного керування швидкістю руху

полотна часто використовуються частотні перетворювачі, що дозволяють плавно змінювати швидкість обертання двигуна.

Застосування приводу транспортного механізму у системах автоматизації дозволяє забезпечити стабільне переміщення матеріалу, синхронізувати роботу технологічного обладнання та підтримувати необхідні параметри виробничого процесу. Це підвищує ефективність роботи виробничої лінії та сприяє отриманню якісної готової продукції

Таблиця 3.9 – Порівняльна таблиця технічних характеристик електродвигунів

Виробник / Модель	Тип двигуна	Потужність	Напруга живлення	Частота обертання	Ступінь захисту	Переваги
Siemens SIMOTICS GP 1LE10	Асинхронний	1.5–7.5 кВт	380–400 В	1500 об/хв	IP55	висока надійність, промисловий стандарт
ABB M2BAX	Асинхронний	1.1–7.5 кВт	380–400 В	1500 об/хв	IP55	енергоефективність, довгий ресурс
WEG W22	Асинхронний	1.1–7.5 кВт	380–400 В	1500 об/хв	IP55	хороше співвідношення ціни та якості

Для приводу транспортного механізму доцільно використати електродвигун Siemens SIMOTICS GP 1LE10 [30] за рис. 3.8. Даний двигун є трифазним асинхронним електродвигуном загального призначення, який широко застосовується у промислових системах автоматизації для приводу конвеєрів та інших механізмів.

Електродвигун цієї серії характеризується високою надійністю, енергоефективністю та можливістю тривалої безперервної роботи технічні

характеристики якого див. табл. 3.10. Крім того, він добре поєднується з частотними перетворювачами, що дозволяє регулювати швидкість руху транспортного механізму.

Тому, використання його забезпечує стабільну роботу виробничої лінії та ефективне функціонування автоматизованої системи керування технологічним процесом.

Конструкція двигуна дозволяє легко поєднувати його з редукторами та частотними перетворювачами, що дає можливість плавно регулювати швидкість руху полотна у технологічній лінії.



Рис. 3.8 – Асинхронний електродвигун Siemens SIMOTICS GP 1LE10

Таблиця 3.10 – Технічні характеристики електродвигуна Siemens SIMOTICS GP 1LE10

Параметр	Значення / Опис
Серія (Тип)	1LE10 (General Purpose)
Матеріал корпусу	Алюмінієвий сплав (Low weight)
Діапазон потужностей	від 0.55 кВт до 45 кВт
Типорозміри (Frame sizes)	від 80 до 200 мм (висота осі обертання)
Клас енергоефективності	IE1 (Standard), IE2 (High), IE3 (Premium)
Кількість полюсів	2, 4, 6, 8 (відповідно 3000, 1500, 1000, 750 об/хв)
Напруга живлення	230/400 В або 400/690 В (50 Гц)
Ступінь захисту	IP55 (стандарт), опціонально IP56 або IP65
Клас ізоляції	F (\$155\$ °C), використання за класом B (\$130\$ °C)
Спосіб охолодження	IC 411 (самовентиляція через зовнішній вентилятор)
Допустима темп. середовища	від –20 °C до +40 °C (стандарт)
Монтажне виконання	IM B3 (на лапах), IM B5 (фланець), IM B35 (комбіноване)

- Для керування приводом транспортного механізму доцільно використати частотний перетворювач Schneider Electric Altivar ATV340D45N4E за рис. 3.9, оскільки він забезпечує ефективне регулювання швидкості асинхронного електродвигуна та стабільну роботу виробничого обладнання.

Частотний перетворювач серії Altivar Machine ATV340D45N4E від Schneider Electric [31]. є високопродуктивним інтелектуальним пристроєм, призначеним для керування трифазними двигунами потужністю 45 кВт у складних промислових системах. Дана модель забезпечує виняткову динаміку керування з часом відгуку контуру швидкості менше 1 мс, що дозволяє використовувати її в механізмах із високими вимогами до точності моменту та швидкості. Завдяки вбудованим портам Ethernet/IP та Modbus TCP з підтримкою топології Daisy Chain, пристрій легко інтегрується в сучасні цифрові архітектури промислового інтернету речей (IIoT), а вбудований веб-сервер спрощує віддалену діагностику та налаштування через стандартні браузеры.



Рис. 3.9 – Частотний перетворювач Schneider Electric Altivar
ATV340D45N4E

Важливою особливістю моделі є високий рівень експлуатаційної безпеки, що підтверджується інтегрованою функцією Safe Torque Off (STO) рівня SIL3 / PLe, яка дозволяє миттєво зняти момент з двигуна без використання додаткових силових контакторів. Надійність обладнання в складних

промислових умовах гарантується спеціальним захисним покриттям електронних плат (conformal coating) класів 3C3 та 3S3, що запобігає корозії та виходу з ладу через вплив агресивних хімічних сполук або пилу. Крім того, алгоритми керування ATV340 адаптовані для роботи з різними типами двигунів — від стандартних асинхронних до енергоефективних синхронних двигунів на постійних магнітах та реактивних двигунів. Універсальність пристрою доповнюється можливістю розширення функціоналу за допомогою модулів енкодерів та додаткових входів/виходів, що робить його гнучким інструментом для автоматизації будь-яких технологічних процесів, де вимагається поєднання потужності, інтелекту та безпеки.

Використання цього перетворювача дозволяє забезпечити плавне регулювання швидкості руху полотна, підвищити енергоефективність роботи приводу та покращити стабільність технологічного процесу виробництва гофрокартону технічні характеристики див. табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Технічні характеристики частотного перетворювача Schneider Electric Altivar ATV340D45N4E

Параметр	Значення
Потужність двигуна	45 кВт (60 к.с.) для важкого режиму (Heavy Duty)
Напруга живлення	380...480 В АС (-15...10%)
Кількість фаз	3 фази (вхід та вихід)
Частота мережі	50/60 Гц (+/- 5%)
Струм лінії (вхідний)	81.2 А (при 480 В) — 103.1 А (при 380 В)

На рис. 3.10 представлено процес програмного конфігурування частотного перетворювача Schneider Electric Altivar ATV340 за допомогою програмного забезпечення SoMove версії 2.10.0.0. У вікні програми активовано

режим перегляду змінених параметрів (Modified Parameters), що дозволяє контролювати відхилення від заводських налаштувань.

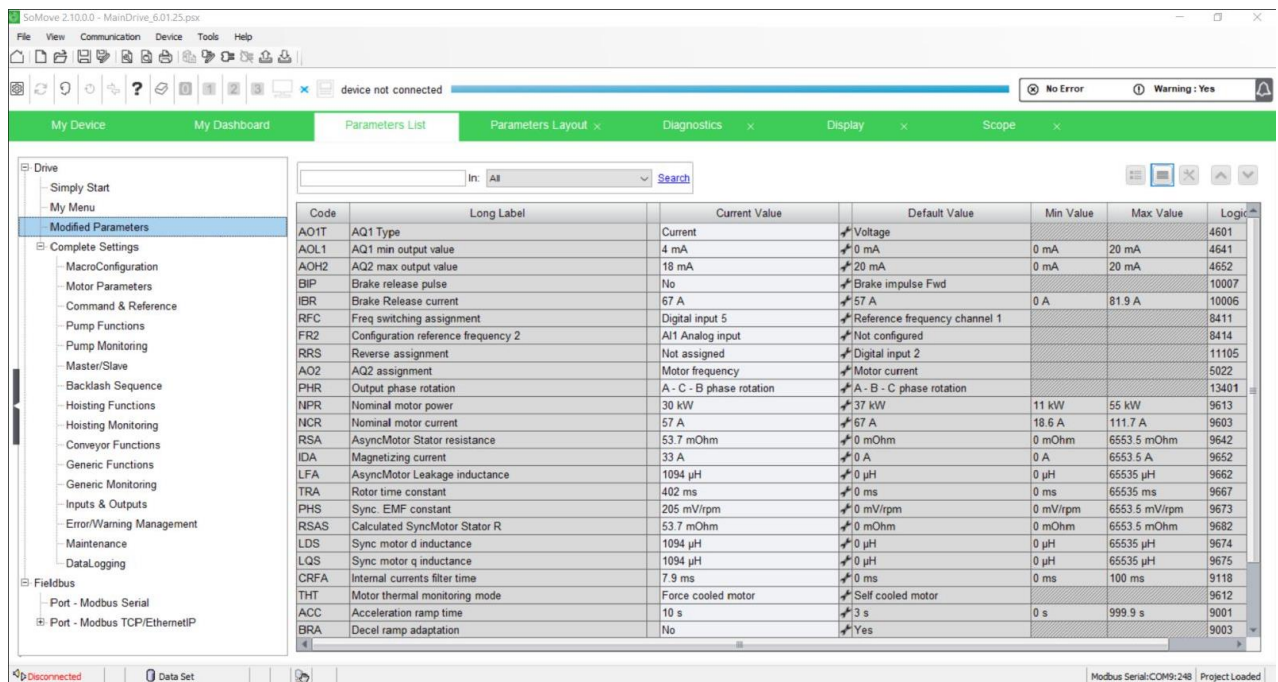


Рис. 3.10 – Вікно параметризації частотного перетворювача Schneider Electric Altivar ATV340 у програмному середовищі SoMove версія 2.10.0.0

Для даної моделі встановлено параметри електродвигуна відповідно до умов роботи транспортного механізму гофроагрегату. Робочу потужність двигуна (NPR) задано на рівні 30 кВт, а номінальний струм (NCR) обмежено значенням 57 А. Час розгону (ACC) встановлено 10 с, що забезпечує плавний пуск та зменшує механічні навантаження.

У розділі налаштування входів та виходів виконано конфігурацію аналогового сигналу керування швидкістю у діапазоні 4–18 мА, який надходить від програмованого логічного контролера Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C. Струм відпускання електромагнітного гальма (IBR) встановлено на рівні 67 А.

Стан (device not connected), відображений на рисунку, вказує на виконання попереднього налаштування параметрів перед передачею їх до пам'яті частотного перетворювача через інтерфейси зв'язку.

Програмовані логічні контролери (рівень керування)

- Програмований логічний контролер — це промисловий мікропроцесорний пристрій, призначений для автоматичного керування технологічними процесами та обладнанням. ПЛК приймає сигнали від датчиків, обробляє їх відповідно до заданої програми та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів.

Контролери технічні характеристики яких див. табл. 3.12, широко застосовуються у системах автоматизації виробництва, зокрема для керування конвеєрами, температурними режимами, приводами та іншими технологічними процесами.

Таблиця 3.12 – Порівняльна таблиця технічних характеристик програмованих логічних контролерів

Виробник / Модель	Напруга живлення	Кількість входів/виходів	Інтерфейси зв'язку	Особливості
Siemens SIMATIC S7-1200	24 В DC	14 DI / 10 DO (залежно від моделі)	PROFINET, Ethernet, Modbus	компактний, висока продуктивність
Allen-Bradley MicroLogix 1400	24 В DC	до 32 I/O	Ethernet, RS-232	стабільна робота, поширений у промисловості
Omron CP1E	24 В DC	до 40 I/O	USB, RS-232	проста конфігурація, доступна ціна

Для реалізації системи автоматичного керування вологістю гофрокартону доцільно використати контролер Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C див.

табл. 3.13. Даний контролер має достатню кількість входів і виходів для підключення датчиків та виконавчих механізмів, підтримує сучасні промислові протоколи зв'язку та легко інтегрується з системами візуалізації НМІ (Human-Machine Interface) [17].

Крім того, контролери серії S7-1200 мають компактну конструкцію, можливість розширення модулями вводу-виводу та підтримують програмування у середовищі TIA Portal, що значно спрощує розробку та налагодження систем автоматизації.

Використання програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C за рис. 3.11, є оптимальним рішенням для кваліфікаційної роботи, оскільки він забезпечує надійну роботу системи керування, простоту інтеграції з обладнанням та відповідність сучасним вимогам промислової автоматизації.



Рис. 3.11 – Програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C

Таблиця 3.13 – Технічні характеристики програмованого логічного контролера Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C

Параметр	Значення
Тип пристрою	Програмований логічний контролер
Живлення	24 В DC
Цифрові входи	14
Цифрові виходи	10
Аналогові входи	2
Комунікаційні інтерфейси	PROFINET, Ethernet
Можливість розширення	модулі вводу-виводу
Ступінь захисту	IP20
Робоча температура	0...+55 °C
Програмне середовище	Siemens TIA Portal

3.4 Розробка алгоритму автоматичного керування вологістю

Автоматичне керування вологістю гофрокартону здійснюється за допомогою ПІД-регулятора, реалізованого на базі програмованого логічного контролера Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C через блок PID_Compact. У процесі роботи системи датчик вологості безперервно вимірює фактичне значення вологості гофрокартону на виробничій лінії та передає відповідний сигнал до контролера [8-9]. Отриманий сигнал обробляється контролером і порівнюється із заданим значенням вологості Moisture_Set, яке встановлюється оператором (повний перелік програмних змінних наведено у Додатку А) або технологічними вимогами виробництва.

Загальна структура алгоритму автоматичного керування вологістю гофрокартону за рис. 3.12. Алгоритм описує послідовність виконання операцій у програмованому логічному контролері та взаємодію між датчиками, регулятором і виконавчими механізмами.



Рисунок 3.12 – Блок-схема алгоритму автоматичного керування вологістю гофрокартону

На початку роботи алгоритму здійснюється запуск циклу керування. Датчик вологості виконує вимірювання поточного значення вологості гофрокартону та передає відповідний сигнал до програмованого логічного контролера.

У контролері виконується обчислення помилки регулювання шляхом порівняння фактичного значення вологості із заданим значенням. Далі сигнал

надходить до ПД-регулятора, який розраховує керуючий сигнал відповідно до параметрів регулювання [10-11].

Сформований керуючий сигнал передається до виконавчих механізмів, зокрема до регулюючого клапана подачі пари та приводу транспортного механізму. У результаті відбувається зміна параметрів технологічного процесу, таких як температура, кількість пари та швидкість руху полотна.

Контролер обчислює помилку регулювання за формулою (3.1):

$$e(t) = W_{\text{задане}} - W_{\text{поточне}} \quad (3.1)$$

де $W_{\text{задане}}$ — задана вологість;

$W_{\text{поточне}}$ — поточне значення вологості.

Після виконання керуючих дій цикл повторюється, що забезпечує безперервне регулювання вологості матеріалу.

У разі виникнення відхилення між поточним і заданим значенням вологості ПД-регулятор обчислює величину регулюючого впливу. При цьому враховується не лише поточна величина відхилення, але й швидкість зміни параметра та накопичена помилка регулювання. На основі цих даних контролер формує керуючий сигнал, який передається до виконавчих механізмів системи, зокрема до регулюючого клапана подачі пари у сушильну секцію та електродвигуна транспортного механізму [13].

Зміна положення клапана дозволяє регулювати кількість пари, що подається до сушильного обладнання, і відповідно впливати на інтенсивність випаровування вологи з гофрокартону. Таким чином забезпечується підтримання необхідного рівня вологості матеріалу в межах заданих технологічних параметрів.

Алгоритм ПІД-регулятора формує керуючий сигнал за формулою (3.2):

$$e(t) = W_{\text{задане}} - W_{\text{поточне}} \quad (3.2)$$

де $U(t)$ — керуючий сигнал

T_p — пропорційний коефіцієнт;

T_i — інтегральний коефіцієнт;

T_d — диференціальний коефіцієнт;

$e(t)$ — помилка регулювання;

t — час регулювання.

Пропорційна частина забезпечує швидку реакцію на помилку, інтегральна — усуває постійне відхилення, а диференціальна — згладжує коливання. Постійний зворотний зв'язок дозволяє оперативно коригувати процес сушіння, компенсуючи зовнішні та внутрішні збурення. Завдяки точному регулюванню температури та швидкості приводу полотна запобігається пересушування або надмірне зволоження гофрокартону. Оптимізація керуючого сигналу також сприяє раціональному використанню енергоресурсів, зменшуючи витрати пари та електроенергії під час роботи установки.

Для практичної реалізації розробленого алгоритму керування у середовищі TIA Portal було використано технологічний об'єкт PID_Compact [10-16]. Вікно конфігурування та діагностики за рис. 3.13 даного об'єкта в режимі реального часу (Runtime). Детальна програмна реалізація розробленого алгоритму із використанням мови структурованого тексту SCL наведена у Додатку Б. Цей інтерфейс дозволяє здійснювати повний контроль за

проходженням сигналу — від первинного отримання даних з аналогового входу до формування керуючого впливу на виконавчий механізм.

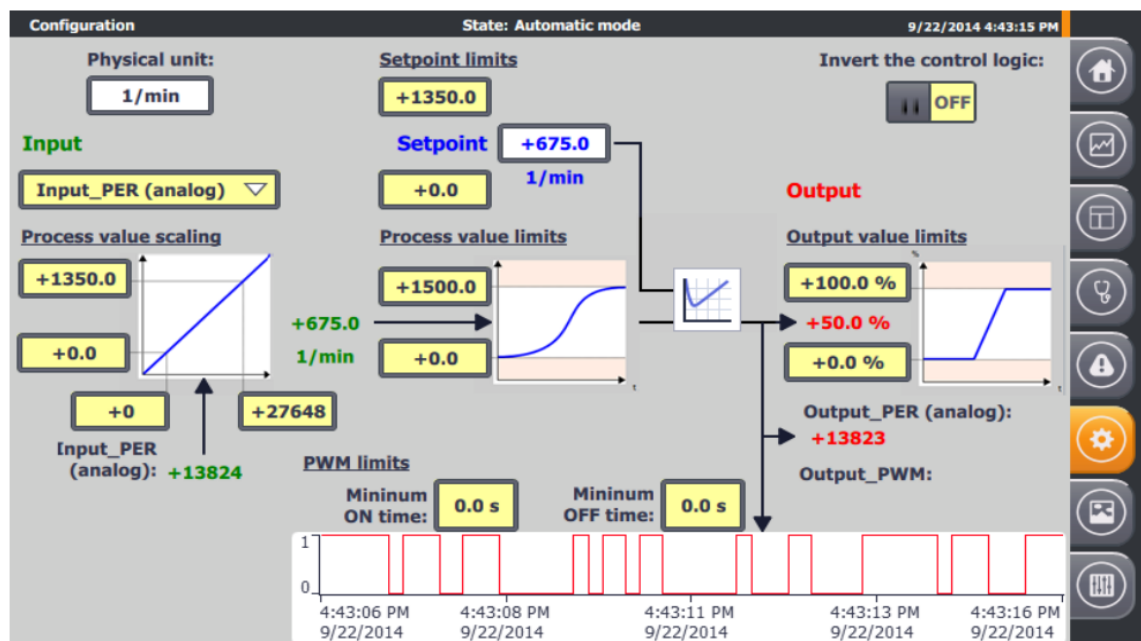


Рис. 3.13 – Інтерфейс налаштування параметрів ПІД-регулятора вологості в режимі Runtime.

У лівій частині рисунка відображено блок вхідного сигналу (Input), де здійснюється приймання аналогового сигналу від датчика. Значення сигналу надходить у цифровому вигляді та проходить процедуру масштабування (Process value scaling), що дозволяє перетворити стандартний сигнал (наприклад, 4–20 мА) у фізичні одиниці вимірювання, зокрема у відсотки вологості або інші технологічні параметри.

У центральній частині рисунка показано встановлення заданого значення (Setpoint) та обмеження діапазону регулювання (Setpoint limits). Задане значення визначає необхідний рівень регульованого параметра, який повинен підтримуватися системою в процесі роботи. Також відображено обмеження значень процесу (Process value limits), що запобігає виходу параметрів за допустимі межі.

Після обробки вхідних даних сигнал надходить до блоку ПІД-регулятора, який формує керуючий вплив відповідно до величини відхилення між заданим та фактичним значенням параметра. У правій частині рисунка показано формування вихідного сигналу (Output), який обмежується заданими межами (Output value limits) та передається на виконавчий механізм, зокрема регулюючий клапан подачі пари або частотний перетворювач для електродвигуна.

У нижній частині рисунка представлено часову діаграму імпульсного керування (PWM limits), яка демонструє зміну вихідного сигналу регулятора у часі. Це дозволяє оцінити характер роботи системи та швидкість реагування на зміну параметрів процесу.

Експлуатація ПІД-регулятора у системі дозволяє забезпечити більш точне та стабільне регулювання процесу, зменшити коливання параметрів і підвищити ефективність роботи виробничої лінії. Графік за рис. 3.14 наочно показує, як ПІД-регулятор реагує на відхилення від уставки, змінюючи вплив на нагрівачі та привід, щоб підтримувати стабільну вологість.

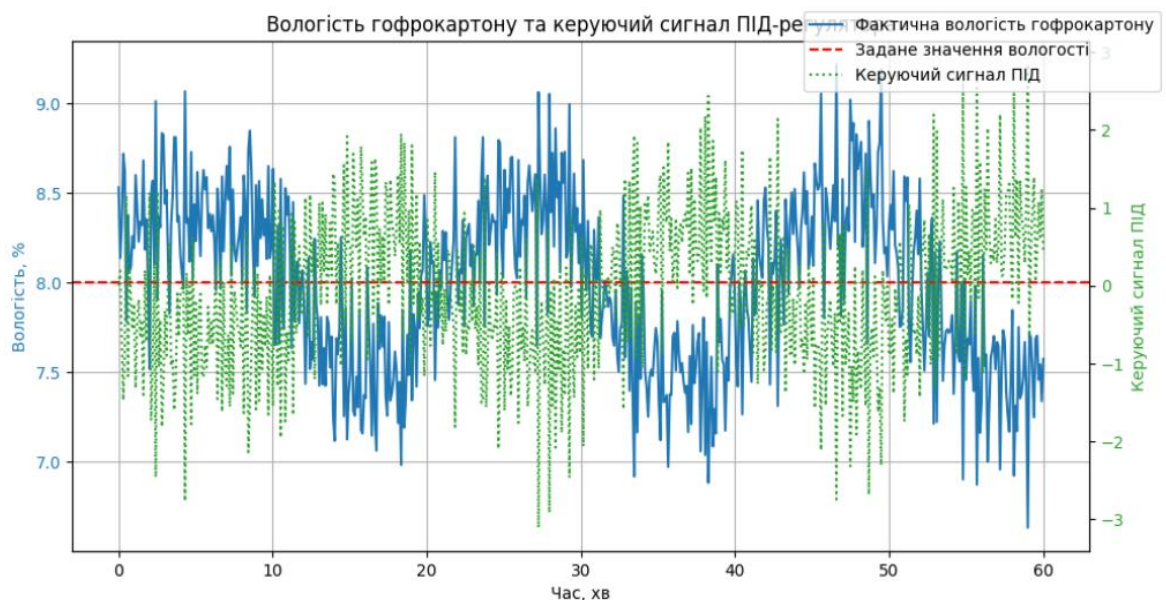


Рис. 3.14 – Графік зміни вологості гофрокартону в процесі сушіння із накладенням керуючого сигналу ПІД-регулятора

3.5 Реалізація системи керування в Siemens TIA Portal (WinCC)

Система автоматичного керування вологістю гофрокартону реалізована у середовищі інтегрованої інженерної платформи Siemens TIA Portal (WinCC), яке призначене для створення систем диспетчерського керування та моніторингу технологічних процесів [9]. Дане програмне середовище дозволяє об'єднати датчики, програмований логічний контролер та виконавчі механізми у єдину систему керування, забезпечуючи збір, обробку та відображення технологічної інформації у режимі реального часу.

Інтеграція обладнання

✓ Програмований логічний контролер

Центральним елементом системи керування є програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C, який виконує обробку сигналів від датчиків, результати якої зберігаються у відповідних вхідних змінних (фрагмент декларації змінних VAR-блоку представлено у Додатку А), та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів.

Контролер здійснює аналіз значень вологості, температури та швидкості руху полотна і на основі алгоритму ПІД-регулювання формує керуючі дії для стабілізації технологічного процесу. Для забезпечення точності регулювання та зручності моніторингу кожна фізична величина зіставлена з програмним тегом, детальні характеристики яких (типи даних, початкові значення та функціональне призначення) наведено у таблиці опису змінних програми (Додаток В).

На рис. 3.15 наведено електричну схему підключення програмованого логічного контролера та виконавчих механізмів системи автоматичного керування вологістю гофрокартону. Основним елементом системи є програмований логічний контролер SIMATIC S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/DC),

який забезпечує збір інформації від датчиків, обробку сигналів і формування команд керування виконавчими пристроями.

Живлення системи здійснюється від мережі змінного струму 220 В, що подається через автоматичний вимикач Q1 на блок живлення V1, який перетворює напругу мережі на 24 В постійного струму для живлення контролера, датчиків і допоміжних елементів автоматики. Використання окремого джерела живлення забезпечує стабільну роботу низьковольтної частини системи та електробезпеку обладнання.

До дискретних входів контролера підключені датчики B1, B2 та B3, які формують сигнали про стан технологічного процесу. Сигнали від датчиків надходять на цифрові входи програмованого логічного контролера, де обробляються відповідно до закладеного алгоритму керування.

Для реалізації аналогового керування використовується модуль SM 1232 AQ, який формує аналоговий сигнал керування 0–10 В. Цей сигнал передається через модуль на клапан Siemens VVF43, що виконує функцію регулювання подачі пари, від якої залежить рівень вологості гофрокартону. Зміна величини аналогового сигналу дозволяє плавно змінювати ступінь відкриття клапана та підтримувати задані параметри технологічного процесу.

Керування електродвигуном M1 здійснюється через магнітний контактор KM1. Контролер подає сигнал на проміжне реле K1, яке керує котушкою контактора. Після спрацювання контактора на двигун подається трифазна напруга 380 В, що забезпечує запуск виконавчого механізму системи. Така схема дає можливість відокремити силове коло від низьковольтного керування та підвищити надійність експлуатації.

Наведена електрична схема забезпечує взаємодію між датчиками, програмованим логічним контролером та виконавчими механізмами, реалізуючи автоматичне керування вологістю гофрокартону відповідно до заданого алгоритму роботи системи.

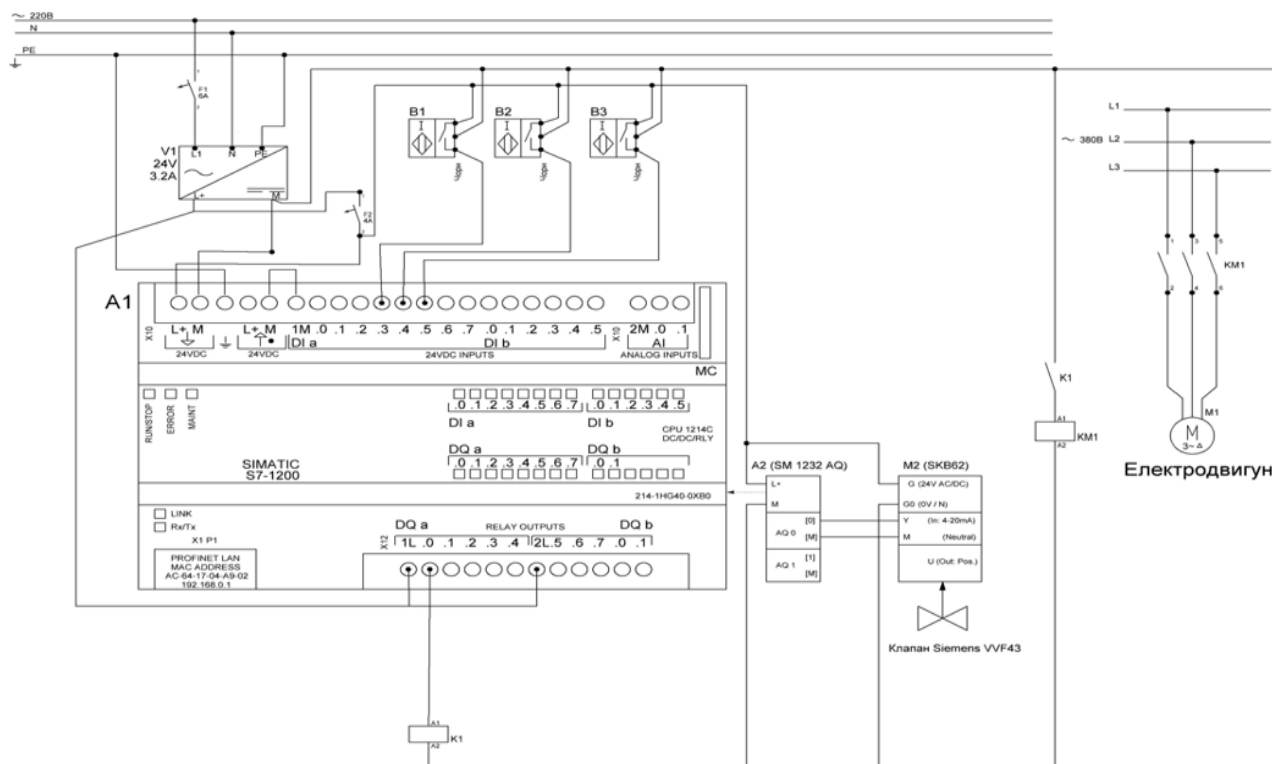


Рис. 3.15 – Електрична схема підключення програмованого логічного контролера та виконавчих механізмів системи керування вологістю

✓ Датчики

Для контролю основних параметрів технологічного процесу використовуються такі датчики:

- Датчик вологості — безконтактний інфрачервоний датчик Industrial NIR On-Line Moisture Sensor, який забезпечує безперервне вимірювання вологості гофрокартону під час руху полотна по виробничій лінії.
- Датчик температури — Siemens SITRANS TS500 Series Temperature Pt100, який використовується для вимірювання температури у сушильній секції виробничої лінії.
- Датчик швидкості руху полотна — інкрементальний енкодер Omron E6B2-CWZ6C, що встановлюється на приводному валу транспортного механізму та забезпечує вимірювання швидкості переміщення матеріалу.

✓ Виконавчі механізми

До виконавчих механізмів системи належать:

- Регулюючий клапан подачі пари Siemens VVF43, який використовується для регулювання кількості пари, що подається до сушильної секції.
- Електродвигун транспортного механізму Siemens SIMOTICS GP 1LE10, який забезпечує переміщення гофрокартону по виробничій лінії.
- Частотний перетворювач Schneider Electric Altivar ATV340D45N4E, що використовується для плавного регулювання швидкості обертання електродвигуна транспортного механізму.

Для забезпечення керування швидкістю електродвигуна транспортного механізму розроблено електричну схему підключення частотного перетворювача до трифазного асинхронного двигуна.

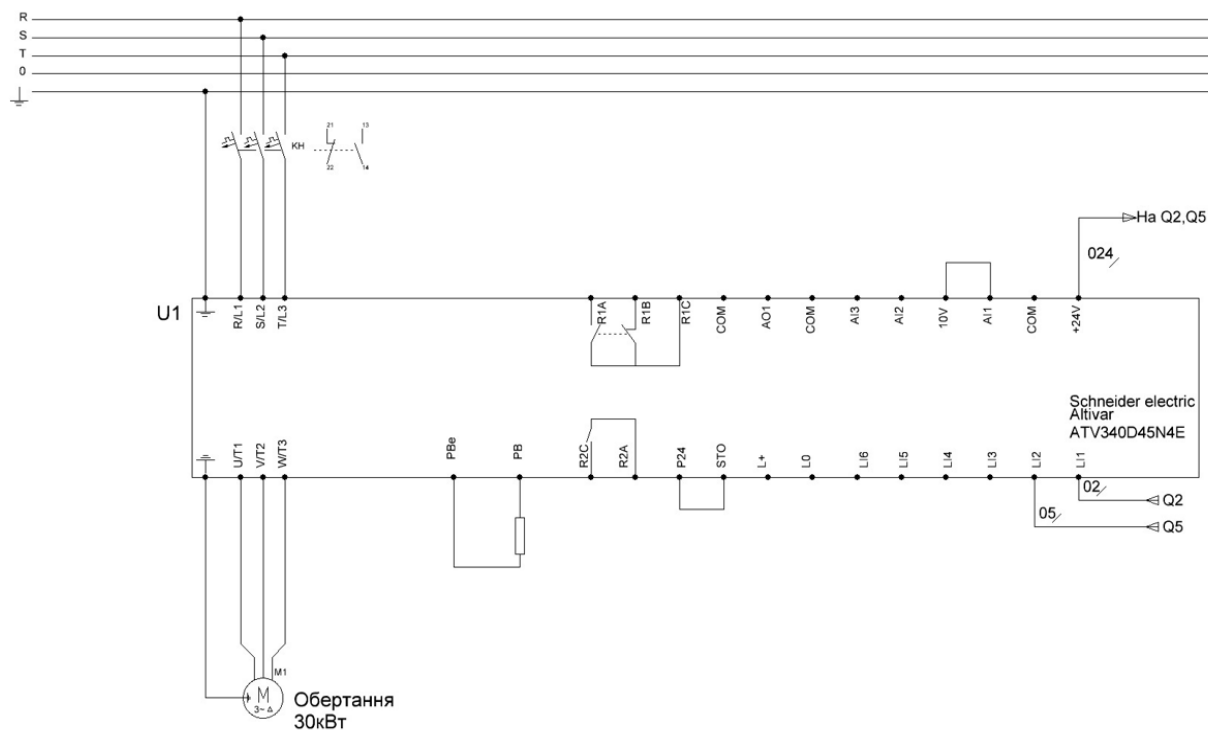


Рис. 3.16 – Електрична схема підключення частотного перетворювача та асинхронного двигуна приводу транспортного механізму

На рис. 3.16 представлено електричну схему підключення частотного перетворювача до трифазного асинхронного електродвигуна транспортного механізму. Живлення частотного перетворювача здійснюється від трифазної мережі змінного струму через входні клеми R/L1, S/L2 та T/L3. Для забезпечення захисту обладнання у схемі використано комутаційний апарат КН, який виконує функцію ввімкнення та вимкнення живлення частотного перетворювача.

Вихідні клеми частотного перетворювача U/T1, V/T2 та W/T3 підключені до трифазного асинхронного електродвигуна М1 потужністю 30 кВт, який забезпечує обертання транспортного механізму виробничої лінії.

Керування роботою частотного перетворювача здійснюється через аналоговий вхід АІ1, на який подається сигнал керування швидкістю у стандартному діапазоні 4–20 мА від програмованого логічного контролера. Для реалізації функцій пуску та зупинки використано цифрові входи LI1–LI6, а живлення кіл керування здійснюється від внутрішнього джерела напруги +24 В.

У схемі також передбачено використання входу STO (Safe Torque Off), який забезпечує швидке відключення крутного моменту електродвигуна у випадку аварійної ситуації або спрацювання системи аварійного вимкнення.

Запропонована схема забезпечує надійне керування швидкістю електродвигуна та інтеграцію частотного перетворювача у загальну систему автоматичного керування технологічним процесом.

Усі пристрої системи автоматизації підключені до інженерної платформи Siemens TIA Portal (WinCC) через програмований логічний контролер із використанням стандартних промислових протоколів зв'язку, що забезпечує надійний обмін даними у режимі реального часу.

Реалізація WinCC (TIA Portal) інтерфейсу оператора за рис. 3.17 забезпечує повну візуалізацію технологічного процесу та дозволяє здійснювати швидке керування основними параметрами виробництва гофрокартону в режимі реального часу. На головному екрані WinCC (TIA Portal) чітко

відображаються ключові показники: поточне значення фактичної вологості (Moisture_Actual — 7,4%) та встановлена оператором уставка (Moisture_Set — 8,0%). Технічні параметри цих тегів та їх початкові значення визначені у Додатку А.



Рис. 3.17 – Людино-машинний інтерфейс системи автоматичного керування вологістю гофрокартону в середовищі WinCC.

Окрім числових даних, система містить динамічну мнемосхему сушильної лінії, яка наочно демонструє стан обладнання та процес проходження полотна через нагрівальні плити. Інтегровані блоки моніторингу температури (160°C) та швидкості (220 м/хв) дозволяють оператору миттєво оцінити відповідність поточного режиму встановленим технологічним картам. Особливу увагу приділено системі графічних трендів, де в реальному часі

вибудовуються криві перехідних процесів, що демонструють якість роботи ПД-регулятора та рівень стабілізації вологості.

Для запобігання виникненню браку або аварійних ситуацій, в інтерфейсі реалізовано систему світлозвукової сигналізації, яка виводить повідомлення про критичні відхилення, такі як «Перегрів нагрівачів!». Таке функціональне наповнення НМІ-панелі мінімізує навантаження на персонал, забезпечуючи високу точність керування та гарантовану якість готової продукції. Програмне середовище також дозволяє зберігати історію всіх змін у базу даних для подальшого аналізу ефективності роботи зміни та обліку енергоресурсів.

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

4 АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

4.1 Аналіз режимів роботи системи

Система автоматичного керування вологістю гофрокартону функціонує у кількох режимах, що забезпечують її стабільну, ефективну та безпечну роботу в умовах безперервного виробництва. До основних режимів належать: пусковий, автоматичний (робочий), ручний та аварійний режими. Кожен із них має свої особливості та призначення, що дозволяє адаптувати систему до різних умов експлуатації.

Пусковий режим використовується під час запуску виробничої лінії після простою або технічного обслуговування [18-19]. На цьому етапі відбувається ініціалізація всіх елементів системи: перевіряється працездатність датчиків вологості, температури та швидкості, а також виконавчих механізмів — клапана подачі пари, електроприводу та частотного перетворювача. Програмований логічний контролер виконує перевірку вхідних і вихідних сигналів, після чого поступово виводить систему на робочий режим. Особлива увага приділяється плавному пуску транспортного механізму за допомогою частотного перетворювача, що дозволяє уникнути механічних навантажень і забезпечити рівномірний рух полотна. Одночасно відбувається поступове підвищення температури сушильної секції до необхідного рівня, що запобігає різким температурним перепадам.

Основним режимом роботи є автоматичний режим, у якому система функціонує відповідно до заданого алгоритму керування. У цьому режимі здійснюється безперервний збір даних від датчиків та їх обробка у ПЛК. Отримані значення вологості порівнюються із заданою уставкою, після чого ПІД-регулятор формує керуючий вплив на регулюючий клапан подачі пари. Залежно від відхилення вологості система автоматично змінює витрату пари, що дозволяє стабілізувати процес сушіння. Крім основного параметра,

враховуються також допоміжні — температура сушильної секції та швидкість руху полотна, які безпосередньо впливають на інтенсивність випаровування вологи. Автоматичний режим забезпечує високу точність регулювання, мінімізацію впливу зовнішніх збурень та стабільність якості готової продукції.

Ручний режим передбачає можливість прямого керування технологічним процесом з боку оператора. Через інтерфейс TIA Portal оператор може змінювати уставки, примусово керувати положенням клапана подачі пари, регулювати швидкість електроприводу або встановлювати інші параметри процесу. Даний режим використовується під час налагодження системи, проведення пусконаладжувальних робіт, а також у випадках, коли автоматичний режим тимчасово недоступний. Незважаючи на можливість ручного керування, система зберігає функції контролю та сигналізації, що дозволяє уникнути небезпечних ситуацій.

Аварійний режим активується у разі виникнення позаштатних ситуацій або відмови обладнання. До основних причин переходу в аварійний режим належать: перевищення допустимої температури сушильної секції, значне відхилення вологості від заданого значення, відмова датчиків або виконавчих механізмів, а також збої у роботі приводу транспортного механізму. У таких випадках система автоматично формує аварійні повідомлення, які відображаються у TIA Portal, та може виконувати захисні дії, зокрема закриття клапана подачі пари, зупинку приводу або переведення системи у безпечний стан. Це дозволяє запобігти пошкодженню обладнання та забезпечити безпеку обслуговуючого персоналу.

Крім основних режимів, у системі можуть реалізовуватися допоміжні функції, такі як архівування даних, аналіз трендів зміни параметрів, сигналізація та ведення журналу подій. Інженерна платформа Siemens TIA Portal (WinCC) забезпечує візуалізацію процесу, що дозволяє оператору швидко оцінювати стан системи та приймати рішення щодо її роботи.

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Тож, реалізація різних режимів роботи системи автоматичного керування вологістю гофрокартону забезпечує її гнучкість, надійність та ефективність. Поєднання автоматичного регулювання, можливості ручного втручання та системи аварійного захисту дозволяє підтримувати стабільні технологічні параметри та забезпечувати високу якість готової продукції.

4.2 Аналіз аварійних ситуацій та захистів

У процесі виробництва гофрокартону система автоматичного керування вологістю працює в умовах дії різноманітних зовнішніх та внутрішніх факторів, що можуть призвести до виникнення аварійних ситуацій. Тому важливим елементом системи є реалізація функцій контролю, діагностики та захисту, які забезпечують безпечну експлуатацію обладнання та стабільність технологічного процесу.

До основних аварійних ситуацій, що можуть виникати в системі, належать перевищення допустимої температури сушильної секції. Це може бути викликано надмірною подачею пари, несправністю регулюючого клапана або порушенням роботи системи керування. Перегрів призводить до пересушування гофрокартону, погіршення його якості та може спричинити пошкодження обладнання. Для запобігання цьому у системі передбачено контроль температури та автоматичне обмеження подачі пари, а у разі критичного перевищення — повне перекриття клапана та формування аварійного сигналу.

Іншою важливою аварійною ситуацією є значне відхилення вологості від заданого значення. Надмірна вологість може призвести до зниження міцності гофрокартону, а недостатня — до його ламкості. Причинами таких відхилень можуть бути несправність датчика вологості, неправильні налаштування регулятора або зміна технологічних умов. У цьому випадку система формує

попереджувальні або аварійні сигнали та може коригувати режим роботи або переводити систему у безпечний стан.

Також можливі відмови датчиків температури, вологості або швидкості руху полотна. Втрата або спотворення сигналів від датчиків може призвести до некоректної роботи системи керування. Для запобігання цьому реалізовано контроль достовірності сигналів, а у випадку їх відсутності або виходу за допустимі межі система переходить у аварійний режим та повідомляє оператора.

Аварійною ситуацією є також порушення роботи приводу транспортного механізму, зокрема його зупинка або нестабільна робота. Це може призвести до перегріву матеріалу в сушильній секції або порушення технологічного процесу. У таких випадках система автоматично зупиняє подачу пари та формує аварійний сигнал.

До системи захисту входять програмні та апаратні засоби. Програмні засоби реалізуються у програмованому логічному контролері та в системі інженерної платформи Siemens TIA Portal (WinCC) і включають контроль параметрів, обробку аварійних сигналів, формування попереджень та архівування подій. Апаратні засоби включають захисні пристрої, такі як запобіжники, автоматичні вимикачі та аварійні кнопки зупинки.

Аналіз аварійних ситуацій та реалізація системи захистів дозволяють забезпечити надійну та безпечну роботу системи автоматичного керування вологістю гофрокартону. Це сприяє запобіганню пошкодження обладнання, зменшенню простоїв виробництва та забезпеченню стабільної якості готової продукції.

4.3 Оцінка ефективності автоматичного керування

Оцінка ефективності системи автоматичного керування вологістю гофрокартону є важливим етапом аналізу її роботи, оскільки дозволяє

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		60

визначити рівень стабільності технологічного процесу, якість регулювання та економічну доцільність впровадження автоматизації [6].

Одним із основних критеріїв ефективності є точність підтримання заданого значення вологості. Завдяки використанню ПІД-регулятора система забезпечує мінімальне відхилення фактичної вологості від уставки, що дозволяє отримувати продукцію стабільної якості. Коливання параметра зводяться до мінімуму, а перехідні процеси відбуваються швидко та без значних перерегулювань.

Важливим показником є швидкодія системи, тобто здатність завчасно реагувати на зміни технологічних умов, таких як зміна швидкості руху полотна або температури сушильної секції. Автоматична система керування забезпечує швидке коригування подачі пари, що дозволяє уникнути значних відхилень вологості та зменшити вплив зовнішніх збурень.

Ще одним критерієм є стабільність роботи системи, яка досягається за рахунок безперервного контролю параметрів та використання надійних технічних засобів. Система здатна працювати у тривалому безперервному режимі без втручання оператора, що особливо важливо для виробничих процесів.

Ефективність автоматичного керування також проявляється у зменшенні впливу людського фактора [10-11]. Завдяки автоматизації процесу зменшується ймовірність помилок оператора, підвищується точність регулювання та покращується загальна надійність системи.

Крім того, система забезпечує підвищення якості готової продукції, оскільки підтримання стабільного рівня вологості є ключовим фактором у виробництві гофрокартону. Це дозволяє зменшити кількість браку та підвищити конкурентоспроможність продукції.

Використання Siemens TIA Portal забезпечує візуалізацію процесу та архівування даних, що дозволяє аналізувати роботу системи, виявляти можливі відхилення та оптимізувати режими керування.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів

Експлуатація та технічне обслуговування системи автоматичного керування вологістю гофрокартону супроводжується впливом комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характерних для підприємств паперової та пакувальної промисловості. Врахування цих факторів є необхідною умовою для забезпечення безпечних умов праці персоналу, надійної роботи обладнання та запобігання аварійним ситуаціям [20].

Основним джерелом небезпеки в технологічному процесі є сушильна секція гофроагрегату, де відбувається інтенсивний теплообмін між поверхнею нагрівальних плит та полотном гофрокартону. Температура робочих поверхонь плит може досягати 160–180 °С, а температура пари у трубопроводах — ще вищих значень. Це створює значний ризик отримання термічних опіків персоналом при проведенні технологічних вимірювань, очищенні поверхонь або технічному обслуговуванні датчиків температури та вологості. Особливо небезпечними є ділянки поблизу парових колекторів, конденсатовідвідників та регулюючих клапанів.

Додаткову небезпеку створює можливість витоку гарячої пари або конденсату внаслідок пошкодження трубопроводів, зношення ущільнень або порушення герметичності з'єднань. У разі раптового розгерметизування система може створювати струмінь гарячої пари, що становить небезпеку для персоналу, а також може призвести до пошкодження електричних компонентів системи автоматизації.

Механічна небезпека у виробництві гофрокартону зумовлена наявністю значної кількості рухомих механізмів. До них належать гофрувальні вали, притискні ролики, транспортні стрічки, тягові паси та ножові механізми різання полотна. Швидкість руху гофрокартонного полотна може досягати 150–300

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		62

м/хв, що створює небезпечні зони затягування одягу або кінцівок працівника. Особливу небезпеку становлять відкриті ділянки валів та роликів, де можливе випадкове потрапляння рук або інструментів під час обслуговування.

Крім механічних факторів, важливу роль відіграє шумове навантаження. Джерелами шуму є вакуумні насоси, головні приводи транспортних механізмів, вентилятори систем вентиляції та компресори. Рівень звукового тиску в окремих зонах може перевищувати 80–85 дБА, що при тривалому впливі призводить до втоми оператора, зниження концентрації уваги та поступового погіршення слуху. Постійний шум також може негативно впливати на психофізіологічний стан працівників.

Специфічним шкідливим фактором виробництва гофрокартону є паперовий пил, що утворюється під час тертя паперового полотна об металеві поверхні, а також у процесі різання та транспортування матеріалу. Частинки пилу можуть проникати у дихальні шляхи, викликати подразнення слизових оболонок та алергічні реакції. Крім того, накопичення пилу на електронних компонентах систем автоматизації (датчиках, контролерах, шафах керування) може призводити до перегріву обладнання, погіршення теплообміну та зниження надійності роботи системи.

У зоні приготування клею також можуть виникати несприятливі умови праці. Використання крохмальних клеїв супроводжується виділенням водяної пари та підвищенням вологості повітря. Це може призводити до корозії металевих поверхонь, зниження електричної ізоляції кабелів та підвищення ризику короткого замикання.

Особливу увагу слід приділити електричним факторам безпеки. Система автоматизації включає програмовані логічні контролери, датчики, електродвигуни, частотні перетворювачі та інше електрообладнання, що працює під напругою. Пошкодження ізоляції кабелів, неправильне підключення обладнання або потрапляння вологи можуть спричинити ураження електричним струмом.

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		63

Ще одним небезпечним фактором є пожежна безпека, пов'язана з використанням великої кількості горючих матеріалів, таких як папір, картон і клейові суміші. У разі перегріву сушильних плит або зупинки полотна на гарячій поверхні можливе загоряння матеріалу. Додаткову небезпеку створює накопичення пилу, який може сприяти швидкому поширенню полум'я.

Важливим фактором є також психофізіологічне навантаження на оператора, що працює з системою керування. Робота з екранами Siemens TIA Portal протягом тривалого часу може викликати втоми очей, зниження уваги та підвищення ймовірності помилок. Особливо це актуально при роботі у змінному режимі.

Проведений аналіз небезпечних та шкідливих факторів дозволяє визначити основні ризики, характерні для експлуатації системи автоматичного керування вологістю гофрокартону. Врахування цих факторів є основою для розробки ефективних заходів щодо забезпечення безпеки праці та зниження ймовірності аварійних ситуацій.

5.2 Заходи з охорони праці, пожежна та електробезпека

Для мінімізації впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації системи автоматичного керування вологістю гофрокартону впроваджується комплекс організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів. Дані заходи спрямовані на забезпечення безпечних умов праці персоналу, зменшення ризику виникнення аварійних ситуацій та підтримання надійної роботи обладнання [26].

Одним із основних технічних заходів є правильне розміщення та зонування обладнання. Усі елементи сушильної секції, що мають підвищену температуру, повинні бути розміщені з урахуванням вимог безпеки та доступності для обслуговування. Гарячі трубопроводи пароконденсатної системи, включаючи колектори та регулюючі клапани, повинні бути покриті

теплоізоляційними матеріалами. Температура зовнішньої поверхні ізольованих трубопроводів не повинна перевищувати 45 °С, що дозволяє зменшити ризик отримання опіків при випадковому контакті з поверхнею. У місцях, де ізоляція неможлива через технологічні особливості, встановлюються захисні металеві екрани та попереджувальні знаки «Обережно! Гаряча поверхня».

Для запобігання механічним травмам всі рухомі частини обладнання повинні бути обладнані захисними огороженнями. Особливу увагу необхідно приділити гофрувальним валам, роликам, транспортним стрічкам та тяговим пасам. Огороження повинні відповідати вимогам безпеки, бути достатньо міцними та забезпечувати неможливість доступу до небезпечних зон під час роботи обладнання. У разі відкривання огороження система автоматично повинна зупиняти обладнання за допомогою кінцевих вимикачів або блокувальних пристроїв.

Важливим елементом забезпечення безпеки є використання систем автоматичного контролю та аварійного захисту. Програмне забезпечення програмованого логічного контролера та Siemens TIA Portal забезпечує контроль температури, вологості та швидкості руху полотна. У разі перевищення допустимих значень температури або відхилення вологості від заданих параметрів система автоматично формує аварійний сигнал та здійснює зупинку технологічного процесу. При обриві полотна або спрацюванні датчиків безпеки відбувається автоматичне перекриття клапанів подачі пари та зупинка приводу транспортного механізму.

Для забезпечення безпечної експлуатації обладнання вздовж усього гофроагрегату встановлюються кнопки аварійної зупинки типу «грибок». Вони повинні бути розташовані в легкодоступних місцях, пофарбовані в червоний колір та мати чітке маркування. Натискання такої кнопки повинно призводити до негайної зупинки обладнання та відключення подачі енергії на виконавчі механізми.

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		65

Особлива увага приділяється організації освітлення робочих місць. Для забезпечення безпечного обслуговування обладнання та контролю параметрів технологічного процесу рівень освітленості робочої зони повинен становити не менше 300 лк. Освітлювальні прилади повинні забезпечувати рівномірне освітлення без утворення різких тіней та відблисків. Для аварійних ситуацій передбачено аварійне освітлення, яке забезпечує достатній рівень освітленості у разі відключення основного живлення.

Для захисту персоналу від впливу пилу [22], шуму та високих температур застосовуються засоби індивідуального захисту. До них належать спеціальний одяг, спецвзуття на нековзній підсошві, захисні окуляри, термостійкі рукавиці та засоби захисту органів слуху (антифони або беруші). Використання засобів індивідуального захисту є обов'язковим під час виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту обладнання.

Важливим заходом є організація ефективної вентиляції виробничих приміщень. Для видалення паперового пилу та надлишкової вологи використовується припливно-витяжна вентиляція. Вентиляційна система повинна забезпечувати підтримання допустимих параметрів мікроклімату, включаючи температуру повітря, відносну вологість та швидкість руху повітря. Регулярне очищення вентиляційних каналів дозволяє запобігти накопиченню пилу та зменшити ризик виникнення пожежі.

Особливу увагу слід приділити пожежній безпеці виробництва гофрокартону, яке характеризується наявністю великої кількості горючих матеріалів. Для запобігання виникненню пожеж здійснюється постійний контроль температури сушильних плит та подачі пари. У системі автоматичного керування передбачено функцію автоматичного перекриття подачі пари у разі зупинки руху полотна. Це дозволяє уникнути перегріву паперу та запобігти його займанню.

У виробничому приміщенні повинні бути встановлені засоби пожежогасіння, включаючи вогнегасники, пожежні крани та системи пожежної

сигналізації. Для гасіння пожеж електрообладнання рекомендується використовувати вуглекислотні або порошкові вогнегасники, які не проводять електричний струм і не пошкоджують електронні компоненти. Розташування вогнегасників повинно відповідати вимогам пожежної безпеки, а доступ до них має бути вільним.

Електробезпека є одним із ключових аспектів експлуатації систем автоматизації [21]. Усі металеві корпуси шаф керування, електродвигуни та інші металеві конструкції повинні бути підключені до системи захисного заземлення. Опір заземлювального контуру не повинен перевищувати 4 Ом. Це забезпечує відведення струму у разі пошкодження ізоляції та запобігає ураженню персоналу електричним струмом.

Кабельні траси повинні бути прокладені в металевих лотках або гофрованих трубах, які не підтримують горіння. Для підвищення надійності роботи електричних систем застосовуються автоматичні вимикачі та пристрої захисного відключення, які забезпечують миттєве відключення живлення у разі короткого замикання або перевантаження.

З урахуванням можливого впливу вологи на електричні компоненти всі датчики, виконавчі механізми та шафи керування повинні мати ступінь захисту оболонки не нижче IP65. Це дозволяє забезпечити надійну роботу обладнання навіть у складних умовах виробництва.

Обслуговування електрообладнання повинно проводитися тільки спеціально підготовленим персоналом, який має відповідну групу допуску з електробезпеки. Перед початком ремонтних робіт необхідно виконувати відключення живлення, перевірку відсутності напруги та встановлення попереджувальних плакатів «Не вмикати! Працюють люди».

Для підвищення рівня безпеки у системах керування широко застосовується низьковольтне живлення (24 В постійного струму) для кіл керування. Використання такої напруги значно знижує ризик ураження електричним струмом під час взаємодії оператора з пультом керування.

Крім технічних заходів важливе значення мають організаційні заходи. До них належить проведення регулярних інструктажів з охорони праці, навчання персоналу правилам безпечної експлуатації обладнання та проведення періодичних перевірок знань. Працівники повинні бути ознайомлені з правилами поведінки у разі виникнення аварійної ситуації або пожежі.

Впровадження комплексу організаційних та технічних заходів з охорони праці, пожежної та електробезпеки дозволяє значно знизити ризик виникнення аварійних ситуацій, забезпечити безпечні умови праці персоналу та підвищити надійність роботи системи автоматичного керування вологістю гофрокартону.

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було розроблено систему автоматичного керування вологістю гофрокартону, що забезпечує стабільність технологічного процесу сушіння та підвищення якості готової продукції. Проведений аналіз технологічного процесу виробництва гофрокартону дозволив визначити основні параметри, які впливають на якість матеріалу, серед яких найбільш важливими є температура сушильної секції, швидкість руху полотна та вологість картону.

У роботі було досліджено особливості процесу сушіння гофрокартону та визначено вимоги до системи автоматичного керування. Розроблено функціональну схему автоматизації, яка включає датчики вологості, температури та швидкості руху полотна, програмований логічний контролер, виконавчі механізми та систему диспетчерського контролю і керування. Обґрунтовано вибір сучасних технічних засобів автоматизації, зокрема датчиків температури типу Siemens SITRANS TS, інкрементального енкодера Omron E6B2-CWZ6C, регулюючого клапана Siemens VVF43, електродвигуна Siemens SIMOTICS GP 1LE10, частотного перетворювача Schneider Electric Altivar ATV340D45N4E та програмованого логічного контролера Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C, які забезпечують надійність і точність роботи системи.

Було розроблено алгоритм автоматичного керування вологістю гофрокартону на основі використання ПД-регулятора, який дозволяє підтримувати задане значення вологості з мінімальними відхиленнями. Реалізацію системи виконано на основі інженерної платформи Siemens TIA Portal (WinCC), що забезпечує зручну візуалізацію технологічного процесу, архівування параметрів та своєчасне реагування на аварійні ситуації.

У розділі аналізу роботи системи було розглянуто режими функціонування, досліджено можливі аварійні ситуації та передбачено відповідні захисні заходи. Проведено оцінку ефективності автоматичного

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		69

керування, яка показала, що застосування автоматизованої системи дозволяє зменшити коливання вологості, підвищити стабільність процесу та знизити кількість браку готової продукції.

У розділі з охорони праці було проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для виробництва гофрокартону, та розроблено комплекс організаційних і технічних заходів щодо забезпечення безпечних умов праці персоналу. Особливу увагу приділено питанням електробезпеки, пожежної безпеки та використанню засобів індивідуального захисту.

Таким чином, розроблена система автоматичного керування вологістю гофрокартону забезпечує підвищення стабільності технологічного процесу, покращення якості продукції, зменшення впливу людського фактора та підвищення рівня безпеки виробництва. Отримані результати можуть бути використані при модернізації існуючих виробничих ліній та впровадженні сучасних систем автоматизації на підприємствах паперової та пакувальної промисловості.

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жученко А.І., Піргач М.С., Жураковський Я.Ю. Автоматизація виробничих процесів целюлозно-паперового виробництва : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 146 с.
2. Автоматизація виробничих процесів : навч. посіб. для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Проць Я. І., Ляшук О. Л., Савків В. Б., Шкодзінський О. К. Тернопіль : ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. 344 с.
3. Сідлецький В.М., Ельперін І, В. Технології конструювання сучасних автоматизованих систем : монографія. Київ : Ліра-К, 2022. 180 с.
4. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів : навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів. Київ : Політехніка, 2008. 236 с.
URL : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49706> (дата звернення: 15.03.2026).
5. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах : навч. посіб. / Пупена О. М., Ельперін І. В., Луцька Н. М., Ладанюк А. П.. Київ : Ліра-К, 2015. 552 с.
6. Поливода В.В., Поливода О.В. Проектування систем автоматизації на платформі CODESYS : навч. посіб. Херсон : ХДМА, 2023. 248 с.
7. Бондаренко І.М., Бородін О.В., Карнаушенко В.П. Мікропроцесорні системи контролю та керування : навч. посіб. для студентів ЗВО. Харків : ХНУРЕ, 2020. 244 с.
8. Trainings in Automation Technology for Ukraine: TATU Study Book / Collective of authors including Gorb S., Nikolskyi V., Shapo V., Khniunin S. Editors Christian Madritsch and Wolfgan Werth. June 9, 2017. 211 p.

9. Аврунін О.Г., Носова Т.В., Семенець В.В. Основи мови VHDL для проектування цифрових пристроїв на ПЛІС : навч. посіб. Харків : ХНУРЕ, 2018. 196 с.
10. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Крушельницький В. В. Мехатроніка : підручник. Київ : ВЦ НУБіП України, 2020. 404 с.
11. Цвіркун Л.І., Грулер Г. Робототехніка та мехатроніка : навч. посіб. Дніпро : НГУ, 2014. 224 с.
12. Матвієнко М.П. Пристрої цифрової електроніки : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2015. 392 с.
13. Дискретна математика : навч. посіб. / Стрелковська І. В., Буслаєв А. Г., Харсун О. М., Пашкова Т. Л., Баранов М. І., Григор'єва Т. І., Вишневська В. М., Кольцова Л. Л. Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2019. 196 с.
14. Гриненко В. В. Пристрої аналогової електроніки : конспект лекцій. Суми : Сумський державний університет, 2015. 272 с.
15. Пушкар М. С., Проценко С.М. Проектування систем автоматизації : навч. посіб. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2013. 268 с.
16. Алексієв В. О., Алексієв О. П., Ніконов О.Я. Мехатроніка, телематика, синергетика у транспортних додатках : навчально-методичний посібник. Харків : ХНАДУ, 2011. 212 с.
17. Тарарака В. Д. Архітектура комп'ютерних систем : навч. посіб. Житомир : ЖДТУ, 2018. 256 с.
18. Комп'ютерні мережі : навч. посіб. / Кравченко Ю. В., Труш О. В., Герасименко О. Ю. Лещенко О. О. Київ : КНУ ім. Т. Шевченка, 2021. 141 с.
19. Скрупська Л.С. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Автоматизація та інформатизація інженерного проектування електричних та електронних апаратів” : для студентів всіх форм

навчання. Частина 2. Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. 38 с. URL : <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/3296> (дата звернення: 25.03.2026).

20. Основи охорони праці : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Івах Р. М., Бедрій Я. І., Білінський Б. О., Козяр М. М.. Київ : Кондор, 2010. 462 с.

21. Правила будови електроустановок (ПБЕ). Київ : Міненерговугілля України, 2017. 608 с.

22. Безпечність машин. Вимоги щодо безпеки на етапі проектування та конструювання друкарських та паперопереробних машин : ДСТУ EN 1010-1:2017 [Чинний з 18.12.2017]. Київ : Держстандарт України, 2017. 16 с.

23. Картон гофрований технічні умови: ДСТУ 9245:2023 [Чинний з 01.04.2024]. Київ : Держстандарт України, 2024. 17 с.

24. Закон України “Про управління відходами № 2320-IX ” : прийнятий 20 червня 2022 р. Голос України. 2022. 09 лип. С. 5–20.

25. Закон України “ Про охорону атмосферного повітря № 2393-IX ” : прийнятий 9 липня 2022 р. Голос України. 2022. 27 лип. С. 4–5.

26. Курепін В. М. Основи охорони праці : навч. посіб. Миколаїв : МНАУ, 2022. 347 с.

27. Made-in-China : веб-сайт. URL : <https://cyeeyotest.en.made-in-china.com/product/YErpOeXLaDUl/China-Laboratory-Usage-Animal-Feed-Infrared-Moisture-Analyzer-Online-Moisture-Meter.html> (дата звернення: 25.03.2026).

28. Alibaba.com : веб-сайт. URL : https://www.alibaba.com/product-detail/Original-Siemens-Temperature-Measurement-SITRANS-TS500_1601290704789.html?spm=a2700.7724857.0.0.42b7720ddHqLl (дата звернення: 29.03.2026).

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		73

29. Радіомаг : веб-сайт. URL : <https://cyeeeyotest.en.made-in-china.com/product/YErpOeXLaDUI/China-Laboratory-Usage-Animal-Feed-Infrared-Moisture-Analyzer-Online-Moisture-Meter.html> (дата звернення: 29.03.2026).

30. Siemens : веб-сайт. URL : <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/App/Main?RC=HQEU&lang=en&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=BPZ%3aVVF43> (дата звернення: 29.03.2026).

31. Schneider Electric : веб-сайт. URL : <https://www.se.com/ua/uk/product/ATV340D45N4E/%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87-%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8-atv340-45%D0%BA%D0%B2%D1%82-380480%D0%B2-ip20-ethernet-%D0%B7-%D0%B5%D0%BC%D1%81%D1%84%D1%96%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC-%D0%BA%D0%B0%D1%82-c3/> (дата звернення: 30.03.2026).

ОГОЛОШЕННЯ ЗМІННИХ (VAR-блок) ДЛЯ ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ

Нижче наведено фрагмент декларації змінних у мові SCL для Siemens SIMATIC S7-1200. Змінні використовуються для обміну даними з HMI, PID_Compact та виконавчими механізмами.

VAR

```
// Вхідні/вимірювані значення (з датчиків)
Moisture_Actual      : REAL;      // Фактична вологість, % ← показується як 7,4%
Temperature_Actual   : REAL;      // Фактична температура, °C
Speed_Actual         : REAL;      // Поточна швидкість полотна, м/хв

// Уставки (змінюються з HMI)
Moisture_Set         : REAL := 8.0;    // Уставка вологості
Temperature_Set       : REAL := 160.0; // Уставка температури (з екрану)
Speed_Set            : REAL := 220.0;  // Задана швидкість (змінюється?)

// Вихід PID та виконавчі
PID_Output           : REAL;          // Керуючий сигнал PID (0...100%) → на клапан
парі
Valve_Output         : REAL;          // Після обмежень/масштабування
Drive_Output         : REAL;          // Задана швидкість для приводу (м/хв)

// Аварії та стани
OverheatAlarm        : BOOL;          // Перегрів нагрівачів! (T > 180)
EmergencyStop        : BOOL;          // Загальна аварійна зупинка
SystemRunning        : BOOL;          // Пуск / Стоп (з HMI)

// Допоміжні для HMI / графіків
PID_ManualMode       : BOOL := FALSE; // Ручний/Авто режим PID (з HMI)
PID_ManualValue      : REAL := 50.0;  // Ручне значення, якщо ManualMode = TRUE
END_VAR
```

ОСНОВНА ЛОГІКА ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ (SCL)

Основна програма керування реалізована мовою SCL, у середовищі програмування Siemens TIA Portal для програмованого логічного контролера Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C.

```
// =====
//   Керування вологістю + температура + швидкість
// =====

// 1. Аварійні умови (найвищий пріоритет)
OverheatAlarm := (Temperature_Actual > 180.0);

IF OverheatAlarm OR EmergencyStop THEN
    Valve_Output    := 0.0;
    Drive_Output    := 0.0;
    "TO_PID_Moisture".Reset := TRUE;      // Скидання PID при аварій
    SystemRunning   := FALSE;
ELSE
    "TO_PID_Moisture".Reset := FALSE;

    // 2. PID_Compact – регулювання вологості → клапан пари
    "TO_PID_Moisture"(
        Setpoint      := Moisture_Set,
        Input          := Moisture_Actual,      // Процесна величина
        ManualEnable   := PID_ManualMode,
        ManualValue    := PID_ManualValue,
        Output         => PID_Output           // 0...100%
    );

    // Обмеження виходу (на всяк випадок, хоча PID_Compact вже обмежує)
    IF PID_Output > 100.0 THEN PID_Output := 100.0; END_IF;
    IF PID_Output < 0.0 THEN PID_Output := 0.0; END_IF;

    Valve_Output := PID_Output; // Прямо на клапан (0-100%)

    // 3. Логіка швидкості полотна (залежить від температури)
    IF Temperature_Actual < Temperature_Set THEN
        Drive_Output := Speed_Set * 0.85; // Зменшуємо швидкість, щоб нагріти (на
        екрані 220, але адаптуй коеф.)
    ELSE
```

Продовження додатка Б

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		76

Закінчення додатка Б

```
        Drive_Output := Speed_Set;

    END_IF;

    // Мінімальна швидкість (щоб не рвалося полотно)
    IF Drive_Output < 50.0 THEN Drive_Output := 50.0; END_IF;

    // Якщо система запущена – передаємо швидкість на привід
    IF SystemRunning THEN
        // Speed_Output := Drive_Output;    // Тут передай на аналоговий вихід або
        PROFINET привід
    ELSE
        Drive_Output := 0.0;
    END_IF;
END_IF;

// 4. Загальний стан системи (для HMI: Пуск / Стоп)
IF NOT SystemRunning THEN
    Valve_Output := 0.0;
    Drive_Output := 0.0;
END_IF;
```

					ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		77

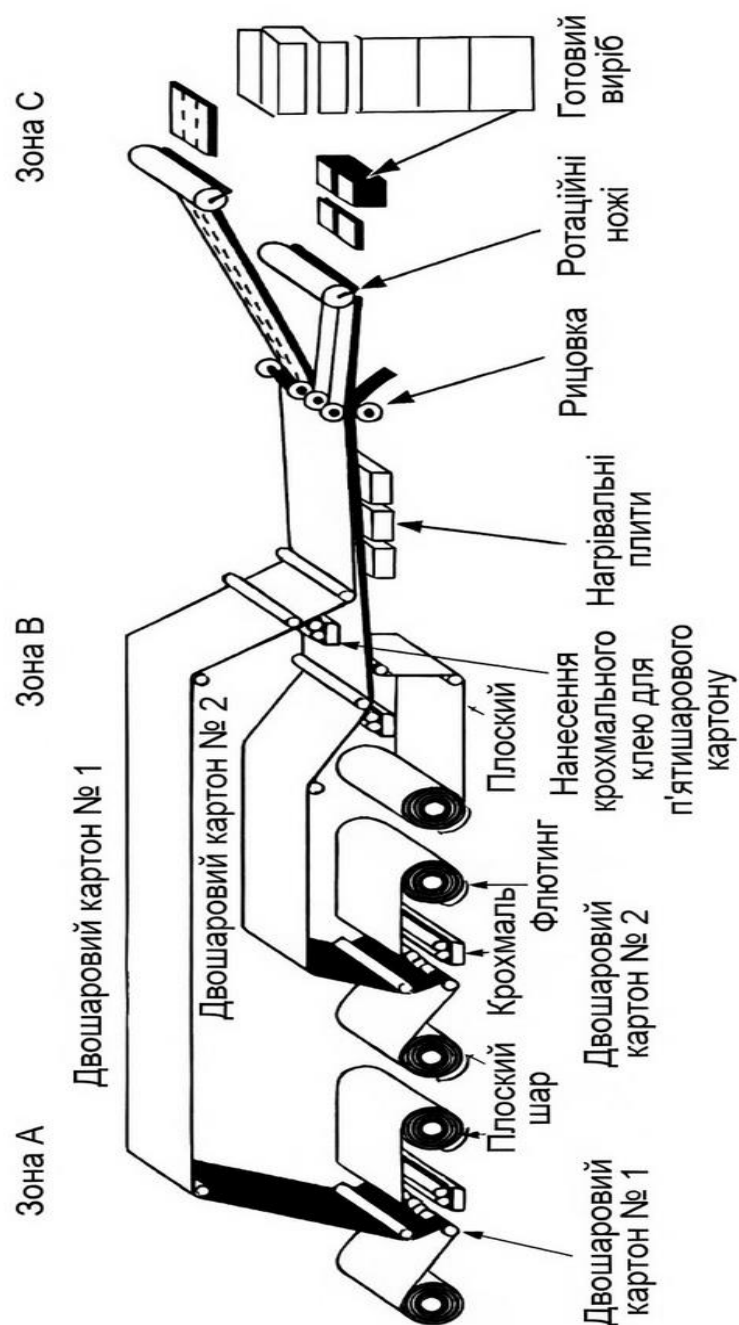
ТАБЛИЦЯ ОПИСУ ЗМІННИХ ПРОГРАМИ

У даному додатку наведено детальні характеристики програмних змінних (тегів), що використовуються в контролері Siemens S7-1200 для реалізації алгоритму керування вологістю.

Таблиця В.1 – Опис змінних програми керування вологістю

№	Назва змінної	Тип даних	Ініціалізація	Опис змінної	Призначення / Примітка
1	Moisture_Actual	REAL	—	Фактична вологість матеріалу, %	Вхідний сигнал з датчика вологості
2	Temperature_Actual	REAL	—	Фактична температура сушильної камери, °C	Вхідний сигнал з датчика температури
3	Speed_Actual	REAL	—	Поточна швидкість руху полотна, м/хв	Вхідний сигнал з енкодера / приводу
4	Moisture_Set	REAL	8.0	Задана (уставка) вологість матеріалу, %	Змінюється з HMI
5	Temperature_Set	REAL	160.0	Задана температура сушіння, °C	Змінюється з HMI
6	Speed_Set	REAL	220.0	Задана швидкість полотна, м/хв	Змінюється з HMI
7	PID_Output	REAL	—	Вихід PID-регулятора (керуючий сигнал), %	Внутрішній сигнал PID_Compact
8	Valve_Output	REAL	—	Вихідний сигнал на клапан подачі пари, %	0 ... 100 %
9	Drive_Output	REAL	—	Задана швидкість для приводу полотна, м/хв	Передається на частотний перетворювач
10	OverheatAlarm	BOOL	FALSE	Аварійний сигнал перегріву нагрівачів	Активується при T > 180 °C
11	EmergencyStop	BOOL	FALSE	Загальна аварійна зупинка	Зовнішня кнопка аварійного стопу
12	SystemRunning	BOOL	FALSE	Стан системи (Пуск / Стоп)	Керується з HMI
13	PID_ManualMode	BOOL	FALSE	Режим ручного керування PID-регулятором	Для налагодження з HMI
14	PID_ManualValue	REAL	50.0	Ручне значення виходу PID (при ManualMode = TRUE)	Використовується в ручному режимі

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА ГОФРОКАРТОНУ



Додаток Д

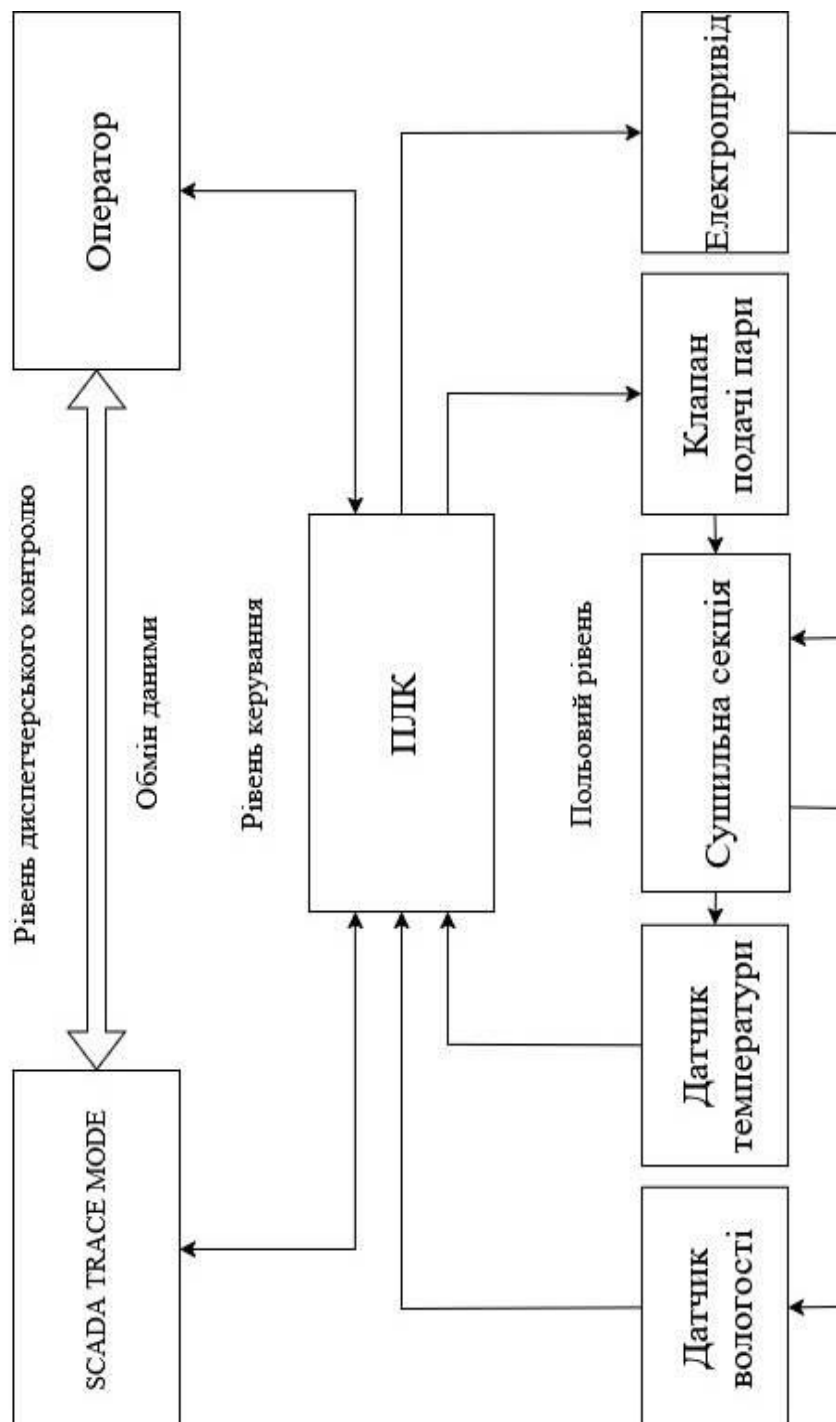
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ

Арк.

79

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ ГОФРОКАРТОНУ



Додаток Е

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ

Арк.

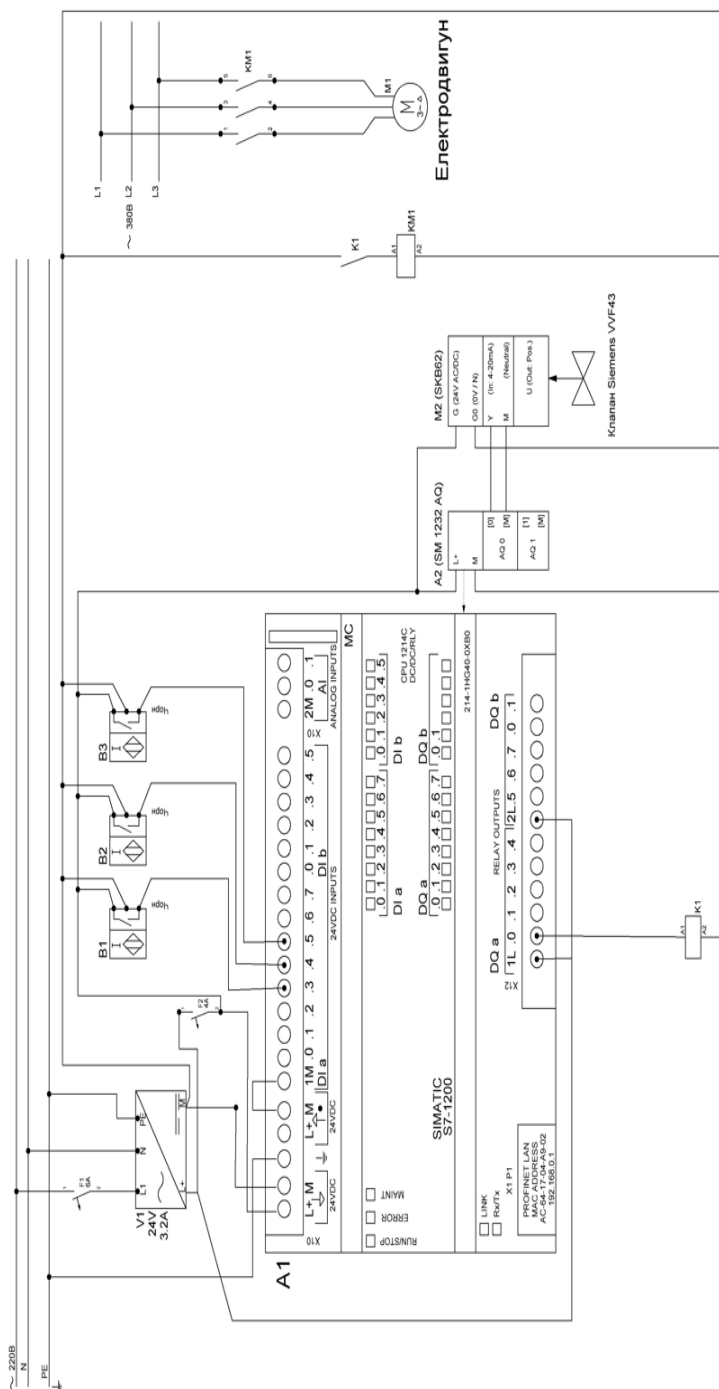
80

БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ ГОФРОКАРТОНУ



Додаток Ж

ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА ТА ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ



Додаток 3

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

ХНТУ 174.КРМБ.26.005 ПЗ

Арк.

82

ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ SCHNEIDER ELECTRIC ALTIVAR ATV340D45N4E.

