

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Форма навчання Заочна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Вовк Оксани Олексіївни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система керування процесом сушіння електричних машин в електроремонтному цеху ПАТ «АМКР»

(повна назва теми)

за матеріалами Технологія просочення й сушіння обмоток статорів електричних машин в ЕРЦ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник доцент, к.т.н.

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Батарєєв В.В.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 16.06. 2026р. № 398-ст

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н.

Наук. ступень, вчене звання

Є.О. Модло

Ініціали, прізвище

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« ____ » _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ(КИ)

Вовк Оксани Олексіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система керування процесом сушіння електричних машин в електроремонтному цеху ПАТ «АМКР»

керівник випускної роботи Батарєєв Віктор Володимирович, доцент, к.т.н.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «06» квітня 2026 року
№ 240-ст

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи 29.05.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи: технологія просочення й сушіння обмоток статорів електричних машин в ЕРЦ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Електрокалориферна установка $P_n=225\text{кВт}$, напруга в мережі $U=380\text{В}$. Число електрокалориферів в установці = 5шт. Максимальна робоча температура повітря 200°C .

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітична частина. Надати інформацію про склад, призначення та основні характеристики технологічного устаткування. Проаналізувати недоліки існуючого управління. Основна частина. Розробка функціональної схеми, вибір технічних засобів автоматизації. Розробити алгоритм роботи системи. Вибрати обладнання для її реалізації. Виконати розрахунок похибок роботи системи. Розглянути заходи щодо пожежної безпеки, охорони й організації праці при роботі в електроремонтному цеху, надати, висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Функціональна схема регулювання температури ВРБ.174.240-ст.02.Е2.1.
Функціональна схема виміру опору ізоляції ВРБ.174.240-ст.02.Е2.2.
Функціональна схема автоматизації сушильної печі ВРБ.174.240-ст.02.Е2.3.
Схема компонування УОК ВРБ.174.240-ст.02.Е0.1. Алгоритм керування
сушильною піччю ВРБ.174.240-ст.02.Е0.2. Графіки перехідного процесу
ВРБ.174.240-ст.02.Е0.3

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Батарєєв В.В.	10.04.2026	10.04.2026
Основна частина	Батарєєв В.В.	10.04.2026	10.04.2026

7. Дата видачі завдання 10.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	01.05.2026	
2.	Основна частина	25.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	27.05.2026	
4.	Виконання графічної частини	28.05.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	29.05.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	22.06.2026	

Студент

(підпис)

Вовк О.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи

(підпис)

Батарєєв В.В.
(прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення	Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.		
1	A3	ВРБ.174.240-см.02.Е2.1	Функціональна схема	1				
2			регулювання температури					
3								
4	A3	ВРБ.174.240-см.02.Е2.2	Функціональна схема	1				
5			виміру опору ізоляції					
6								
7	A3	ВРБ.174.240-см.02.Е2.3	Функціональна схема	1				
8			автоматизації сушильної печі					
9								
10	A3	ВРБ.174.240-см.02.Е0.1	Схема компонування УОК	1				
11								
12	A3	ВРБ.174.240-см.02.Е0.2	Алгоритм керування	1				
13			сушильною піччю					
14								
15	A3	ВРБ.174.240-см.02.Е0.3	Графіки перехідного процесу	1				
16								
17	A4	ВРБ.174.240-см.02.ПЗ	Пояснювальна записка	53				
18								
19								
20								
21								
22								
				ВРБ.174.240-см.02.ВР				
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система керування процесом сушіння електричних машин в електроремонтному цеху ПАТ «АМКР» Відомість роботи	Літера	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Вовк О.О.						
Пров.		Батарєєв В.В.					4	1
						ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА Гр. ЗАВ-23ск		
Н.контр.		Батарєєв В.В.						
Затв.		Модло Є.О.						

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра:
53 с., 22 рис., 14 табл., 19 джерел.

Об'єкт дослідження – технологічний процес сушіння обмоток великогабаритних електричних машин в електроремонтному цеху ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Предмет дослідження – засоби автоматизації та алгоритми керування тепловим режимом двокамерної сушильної печі.

Мета роботи – розробити мікропроцесорну систему, що забезпечує автоматичне регулювання температури, контроль опору ізоляції обмоток та облік спожитої електроенергії, усуваючи суб'єктивний чинник при визначенні моменту завершення сушіння.

У роботі проаналізовано виробничу структуру ЕРЦ, описано технологію просочення та сушіння обмоток, розроблено функціональну схему автоматизації, обрано сучасне мікропроцесорне обладнання, розраховано параметри ПІ-регулятора та виконано моделювання в SIMULINK. Обґрунтовано заходи з охорони праці й пожежної безпеки, розраховано освітлення.

Впровадження системи дозволяє скоротити тривалість сушіння, запобігти перегріванню ізоляції та знизити питомі витрати електроенергії.

Ключові слова: автоматичне регулювання, електроремонтний цех, ізоляція обмоток, мікропроцесорний контролер, ПІД-регулятор, сушильна піч, тиристорний регулятор напруги.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Структура та склад обладнання електроремонтного цеху.....	9
1.2 Опис процесу ремонту й випробувань.....	11
1.3 Технологія просочення й сушіння обмоток статорів електричних машин в ЕРЦ.....	12
1.4 Недоліки існуючої системи керування температурою сушильної печі	17
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	19
2.1 Призначення й склад системи.....	19
2.2 Регулювання температури сушильної печі	19
2.2.1 Конструктивне виконання ТРН	19
2.2.2 Особливості роботи ТРН 380-200-3	22
2.3 Розробка функціональної схеми системи	23
2.4 Налаштування параметрів регулятора при зміні температури.....	25
2.5 Вимірювання опору ізоляції в процесі сушіння двигуна.....	27
2.6 Облік спожитої електроенергії	30
2.7 Розрахунок необхідного інтервалу опитування датчиків і допустимої похибки.....	32
2.8 Розробка алгоритму роботи сушильної печі	33
2.9 Перелік вхідних та вихідних сигналів	36
2.10 Вибір технічних засобів.....	36
2.10.1 Датчик температури	36
2.10.2 Датчик витрати	38
2.10.3 Джерело живлення	39

	7
2.11 Компонування управляючого обчислювального комплексу.....	40
2.11.1 Вибір контролера.....	40
2.12 Моделювання САР температури сушильної печі.....	43
2.13 Заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності.....	47
2.13.1 Вибір і характеристика будівельного майданчика	47
2.13.2 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів ЕРЦ	47
2.13.3 Заходи щодо зниження шкідливих і небезпечних чинників	48
2.13.4 Розрахунок рівномірного освітлення	48
2.13.5 Засоби індивідуального захисту	50
2.13.6 Санітарно-побутові приміщення	50
2.13.7 Пожежна безпека.....	50
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	52

ВСТУП

Електроремонтний цех ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» здійснює технічне обслуговування та відновлення електричних машин, задіяних у металургійному виробництві [1].

Для сушіння ізоляції після просочення лаками застосовується двокамерна сушильна піч із трубчастим електрокалорифером сумарною потужністю 225 кВт. Технологічний цикл тривалістю 12 годин і більше завершується відключенням печі оператором, який не має змоги об'єктивно визначити момент стабілізації опору ізоляції. Суб'єктивний чинник спричиняє пересушування лаків, погіршення перевантажувальної здатності двигунів та невиправдані витрати електроенергії [1].

В основу випускної кваліфікаційної роботи покладено розробку мікропроцесорної системи регулювання теплового режиму сушильної печі для великогабаритних електродвигунів, що забезпечує:

- плавне керування температурою відповідно до технологічного графіку;
- безперервний контроль опору ізоляції кожної обмотки під час сушіння;
- автоматичне відключення печі після стабілізації $R_{\text{ізол}}$;
- облік витраченої електроенергії;
- архівування даних про режим сушіння з виведенням на дисплей або принтер.

Метою роботи є заміна застарілих засобів автоматики на сучасне мікропроцесорне обладнання, яке виключає участь оператора в прийнятті рішення про завершення сушіння.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Структура та склад обладнання електроремонтного цеху

Виробничу структуру електроремонтного підприємства визначають номенклатура та обсяги ремонтovanого обладнання [2]. Цех охоплює сім основних видів технологічних операцій, які виконуються на спеціалізованих ділянках.

Перший вид – передремонтні випробування: перевірка опору ізоляції, електричної міцності, стану підшипників, осьового биття ротора, прилягання щіток, вібрації та повітряного зазору [2]. Другий вид – розбирання та дефектація вузлів. Третій – обмотувальні та просочувально-сушильні операції з поопераційним контролем ізоляції. Четвертий – слюсарно-механічне оброблення деталей. П'ятий – комплектування. Шостий – складання та балансування роторів. Сьомий – контрольні випробування.

На ділянці № 1 ЕРЦ ремонтують малі й мікродвигуни. Основні типи та межі потужностей наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Типи та межі потужностей асинхронних двигунів ділянки № 1 [1]

Тип двигуна	Одиниця виміру	Значення потужності
1	2	3
А	кВт	1-28
АТ, АОФ, АТЗ	кВт	0,8-30
АОЛ	кВт	0,6-1,5
АОП	кВт	0,8-22
АИМ, АИММ, АИУ	кВт	5,5-11
АИР, АИК	кВт	0,25-15
4А, 4АМ, 4АС, 4ААМ, АМУ	кВт	0,75-30
АМТКФ, МТКФ	кВт	3,5-22

Продовження табл.1.1

1	2	3
АРА, АРВ, АРМ, АР, КРА	кВт	0,65-4
МА	кВт	18
АЕ	кВт	0,25
В160	кВт	1,6-11
ВРП	кВт	15; 18
КГ	кВт	4,5-8
КО	кВт	20; 25
КН	кВт	0,18
КОМ	кВт	1,7-22

Для ремонту великогабаритних машин функціонують спеціалізовані ділянки. Асортимент двигунів великої потужності наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Типи та межі потужностей двигунів великих ділянок [1]

Тип двигуна	Одиниця виміру	Потужність, кВт
1	2	3
4МТН280S10	кВт	45
МТВ-611-10	кВт	45
МТВ-712-10	кВт	125
МТН-712-10	кВт	125
ГВС-200	кВт	200
ДСП-2000	кВт	2000-2500
СДН-1600	кВт	1600
СТД-3100	кВт	3100
СТД-3200	кВт	3200
А-630	кВт	630

1	2	3
4ГПЕМ-600	кВт	600
СДЕ-630	кВт	630
СТМ-9000	кВт	9000
СТМ-12000	кВт	12000
МПВ-640	кВт	640
А-800	кВт	800
GW-870	кВт	870
GW-275	кВт	275
АКЗ-800	кВт	800
АЕ-250	кВт	250
ДП-710	кВт	550-710

1.2 Опис процесу ремонту й випробувань

Прийом електрообладнання на ремонт здійснюється після узгодження зі службою планово-ремонтного відділу при наявності «Переліку заявки» [1]. Після реєстрації машину передають начальнику ділянки для розбирання, дефектації та оформлення ремонтних відомостей.

Інженер з нормування проставляє норму часу і розцінку. Після завершення обмотувальних та просочувально-сушильних робіт двигун передають на КВС для контрольних випробувань. Результати фіксують у відомостях та журналах. Готову машину здають на склад, документацію – до столу замовлень.

Орієнтовні розцінки ремонту великих машин за станом на 01.2026 р. наведено в табл. 1.3 [1].

Вартість ремонту великих електричних машин в ЕРЦ (01.2026) [1]

Тип	Капітальний ремонт, год / грн	Середній ремонт, год / грн
ДП-190	133,5 / 47 260 грн	80,1 / 28 360 грн
А-800	209,8 / 74 270 грн	125,9 / 44 570 грн
А-630	209,8 / 74 270 грн	125,9 / 44 570 грн
СДЕ-630	183,5 / 64 960 грн	110,1 / 38 980 грн
СТМ-9000 (стат.)	1480 / 523 970 грн	888 / 314 380 грн
GW-275	509 / 180 120 грн	305,4 / 108 050 грн

1.3 Технологія просочення й сушіння обмоток статорів електричних машин в ЕРЦ

Термічна обробка обмоток статорів, роторів та якорів проводиться у спеціальних камерах при температурі 105-120 °С з метою виведення вологи з гігроскопічних ізоляційних матеріалів – електрокартону, бавовняних стрічок та ін. [3]. Висушені обмотки занурюють у ванну з лаком МЛ-92 або К-916к, оснащену підігрівом для поліпшення проникнення лаку.

Зі збігом часу в'язкість лаку у ванні зростає через випаровування розчинників, тому густину та в'язкість безперервно контролюють і додають розчинники [3]. Обмотки просочують від 1 до 3 разів залежно від умов експлуатації.

Для скорочення витрат лаку застосовують просочення з натиском: статор встановлюють на кришці спеціального бака, під нього подають стиснене повітря 0,45–0,50 МПа, яке піднімає рівень лаку до заповнення обмотки. Після стоку надлишку лаку (≈ 40 хв) статор направляють до сушильної камери [3].

Просочення під підвищеним тиском застосовують при щільному укладанні провідників, коли звичайне просочення не забезпечує достатнього проникнення лаку. Процес виконується аналогічно, але зверху додатково встановлюється кришка, притиснута циліндром зі стисненим повітрям [3].

Лак і розчинники є токсичними та пожежонебезпечними; роботу виконують з дотриманням правил охорони праці [4]. Персонал використовує засоби захисту, приміщення оснащують приточно-витяжною вентиляцією.

Режими сушіння наведено в табл. 1.4 [3].

Для сушіння великогабаритних двигунів у ЕРЦ застосовують двокамерну сушильну піч тупикової конструкції з електрообігріванням (рис. 1.1) [1].

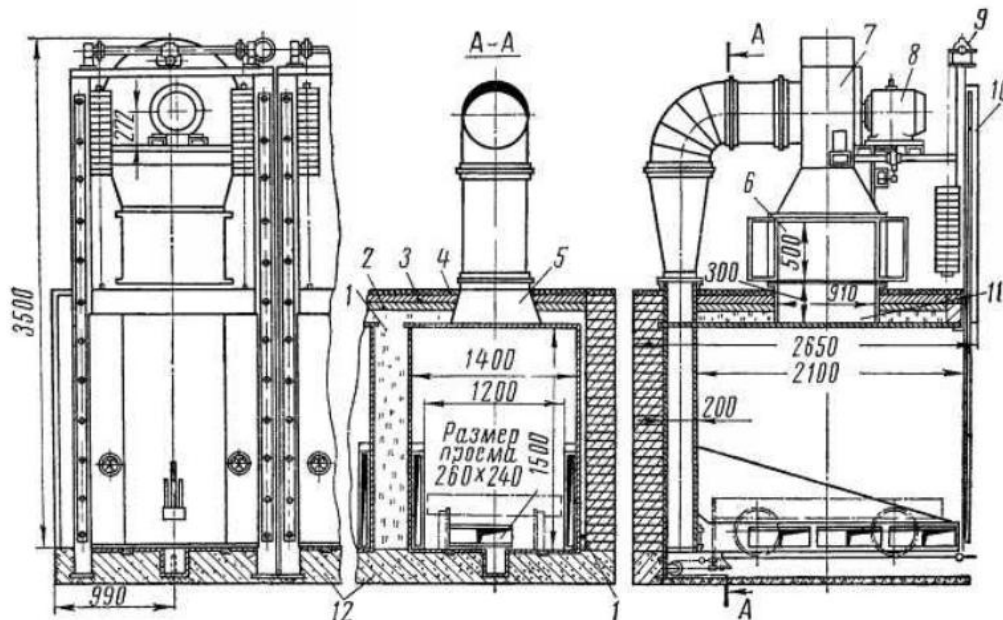


Рис. 1.1. Піч з тупиковою камерою для сушіння електродвигунів
([1])

1 - шлаковата; 2 - піношамотна цегла; 3 - діатомітова цегла; 4 - цементний шар товщиною 20 мм; 5 - короб сполучний; 6 - електрокалорифер із трубчастими електронагрівниками; 7 - вентилятор; 8 - електродвигун; 9 - механізм підйому дверей; 10 - дверцята камери; 11 - патрубок калорифера; 12 - бетон.

Таблиця 1.4

Режими просочення й сушіння обмоток електричних машин

Вузол	Клас нагрівостійкості														
	А і Е							В					В		
	Просочувальні лаки МЛ-92												Покр ивна емаль	t-ра суші ння °С	Ч ас су шін ня , го д
	Темп-ра поперед нього сушіння °С	Час					t-ра попер-го сушіння °С	Час							
пепередн. сушіння, год		першо го просо чення, хв	сушіння після першого просочен ня, год	друго го просо чення, хв	сушінн я після 2-ого просоч ення, год	попр. сушін ня, год		першого просоче ння, хв	сушіння після першого просоче ння, год	другог о просоч ення, хв	сушін ня після 2-ого просоч ення, год				
Всипна обмотка статора Ді<160мм	120±5	2÷3	15	5	10	6÷8	135±5	2÷3	15	4	10	4÷6	ГФ-92хс	20±5	18 ÷ 24
Всипна обмотка статора Ді=160мм ÷ 350мм		4÷5	20	8	10	10÷12		3÷4	20	6	10	8÷10			
Шаблонова обмотка статора Ді≤560мм		6÷8	30	12	15	14÷16		5÷6	30	10	15	12÷14			
Обмотка якоря (ротора) Дя<200мм		2÷4	15	5	10	6÷8		2÷3	15	4	10	4÷6			
Обмотка якоря (ротора) Дя=200 ÷ 400мм		4÷6	20	8	10	10÷12		4÷5	20	6	10	8÷10			
Обмотка якоря (ротора) Дя=400 ÷ 600мм		6÷8	25	10	15	14÷16		5÷6	25	10	15	12÷14			
Обмотка якоря (ротора) Дя=600 ÷ 1000мм		8÷10	30	14	15	18÷20		6÷8	30	14	15	16÷18			
Котушки збудження δ понад 40 мм	135±5	3÷4	40	8÷10	-	-	135±5	3÷4	40	8÷10	-	-	ГФ-92хс	20±5	16 ÷ 18
Котушки збудження δ понад 40 мм		4÷5	60	14÷16	-	-		4÷5	60	14÷16	-	-		110± 5	3 ÷ 6

Вузол	Клас нагрівостійкості							
	Н							
	Просочувальний лак К-916к							
	Темп-ра поперед нього сушіння °С	Час						
попер. сушіння, год		першо го просо чення, хв	сушіння після першого просочення, год		другого просоче ння, хв	сушіння після другого просочення, год		
			при 120±5 °С	при 200±5 °С		при 120±5 °С	при 200±5 °С	
Всипна обмотка статора Ді<160мм	200±5	2÷3	15	2÷3	4	10	2÷3	6÷8
Всипна обмотка статора Ді=160мм ÷ 350мм		3÷4	20	3÷4	6	10	3÷4	8÷10
Шаблонова обмотка статора Ді≤560мм		5÷6	30	4÷5	8	15	4÷5	12÷14
Обмотка якоря (ротора) Дя<200мм		2÷3	15	2÷3	4	10	2÷3	6÷8
Обмотка якоря (ротора) Дя=200 ÷ 400мм		3÷4	20	3÷4	8	10	3÷4	10÷12
Обмотка якоря (ротора) Дя=400 ÷ 600мм		5÷6	25	4÷5	10	15	4÷5	14÷16
Обмотка якоря (ротора) Дя=600 ÷ 1000мм		6÷8	30	4÷5	12	15	4÷5	18÷20
Котушки збудження δ понад 40 мм	200±5	3÷4	40	3	8÷12	-	-	-
Котушки збудження δ понад 40 мм		4÷5	60	4	10÷12	-	-	-

Повітря, нагріте в калорифері, прокачується вентилятором і омиває вироби на візку. Охолоджене повітря повертається у циркуляційний повітропровід. Заслінки автоматично регулюють частку викиду відпрацьованого повітря залежно від етапу сушіння [1].

Нагрівання виконується ступінчасто від 45 °С з підвищенням на 5-8 °С/год. Технічні характеристики печі наведено в табл. 1.5 [1].

Таблиця 1.5

Технічні характеристики двокамерної сушильної печі [1]

№	Найменування	Од. вим.	Значення
1	Вентилятор ВВД-11У, продуктивність Q	м³/год	11 000
2	Електродвигун АТ2-71-6: потужність / n	кВт / об/хв	17 / 1000
3	Потужність електрокалорифера	кВт	225
4	Кількість секцій	шт	5
5	Максимальна температура повітря	°С	200
6	Напруга живлення / схема / частота	В / – / Гц	380 / Y / 50

До складу діючої системи керування входять такі технічні засоби табл. 1.6

Склад наявного обладнання системи керування температурою [1]

№ з/п	Тип (позначення)	Найменування	Функціональне призначення	Кількість, шт.
1	КСП-4	Пристрій контролю й реєстрації	Вимірювання та запис температури в печі	1
2	РП 160-13	Прилад реєструючий самописний	Фіксація температурного режиму на діаграмній стрічці	1
3	ТСМ-50М	Термометр опору мідний	Перетворення температури в електричний сигнал опору	1
4	ВР-33-1УХЛ4	Реле часу	Формування тимчасових затримок у ланцюгах керування	1
5	ВЛ-64УХЛ4	Реле часу	Витримка часу перед запуском/зупинкою	1
6	РПУ-2-М3	Реле проміжне	Гальванічна розв'язка та підсилення сигналів керування	2

1.4 Недоліки існуючої системи керування температурою сушильної печі

Проведений аналіз функціонування наявної системи керування температурою сушильної печі дозволив виявити такі суттєві недоліки.

Час вимкнення печі не має прямої відповідності до фактичного перебігу технологічного процесу сушіння. Задані часові інтервали є фіксованими й не адаптуються до реального стану ізоляції двигуна, що знижує гнучкість керування.

Рішення про зупинку сушильної печі приймає оператор візуально або на основі показів застарілих приладів. При цьому у персоналу відсутня технічна можливість точно визначити момент, коли опір ізоляції двигуна досягає нормованих значень. Наслідками цього є пересушування ізоляційних лаків (при надмірній тривалості процесу), зниження перевантажувальної здатності двигуна внаслідок деградації ізоляційних властивостей, а також невиправдані втрати електроенергії через роботу печі понад технологічно необхідний час. Таким чином, наявність суб'єктивного фактору безпосередньо впливає на якість сушіння та енергоефективність процесу.

Існуюча система також не передбачає паралельного зберігання інформації про умови сушіння на електронному носії, автоматичної реєстрації таких параметрів, як температурний режим, поточний опір ізоляції двигуна, фактичний час сушіння, витрачена електрична енергія, прив'язка технологічного процесу до астрономічного часу. Крім того, відсутня можливість подальшого виведення накопичених даних на дисплей або на паперовий носій для аналізу чи формування звітної документації.

Усе перелічене обладнання належить до фізично та морально застарілих засобів. Воно не підтримує сучасні цифрові інтерфейси зв'язку, має низьку точність регулювання, значну інерційність та вимагає постійної присутності обслуговуючого персоналу.

Метою випускної кваліфікаційної роботи бакалавра є заміна застарілих технічних засобів на сучасні мікропроцесорні пристрої.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Призначення й склад системи

Сучасна промислова автоматика базується на досягненнях мікропроцесорної техніки, що дозволяє будувати інтелектуальні системи з принципово новими функціональними можливостями [5]. Розроблювана система забезпечує:

- вимірювання та регулювання температури відповідно до технологічного графіку;
- контроль опору ізоляції кожної обмотки відносно корпусу та між обмотками;
- автоматичне відключення печі після стабілізації $R_{\text{ізол}}$ при сталій температурі;
- облік спожитої електроенергії;
- архівування температурного режиму, значень $R_{\text{ізол}}$, часу та умов сушіння.

2.2 Регулювання температури сушильної печі

Для безступінчастого керування температурою ТЕНів застосовано тиристорний регулятор напруги (ТРН), призначений для плавної зміни діючого значення напруги на навантаженні в мережах 220-380 В, 50 Гц [6].

Пристрій функціонує як з активним (ТЕН), так і з активно-індуктивним навантаженням. Регулювання вихідної напруги реалізується через вбудований резистор, кнопки «+»/«-» або аналоговий керуючий сигнал 4-20 мА / 0-10 В.

2.2.1 Конструктивне виконання ТРН

ТРН виконано у вигляді прямокутного закритого металевого шасі з кріпильними отворами для монтажу на вертикальну поверхню. Знімна передня

кришка несе пульт індикації та налаштування [6]. До складу входять: шасі з вентилятором, охолоджувач із тиристорними модулями, трансформатори струму, плати RC-кіл, панель плати керування.

Номінальний струм, що протікатиме через ТРН при потужності калориферів 225 кВт:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{225\,000}{1,732 \cdot 380 \cdot 0,95} \approx 360 \text{ А} \quad (2.1)$$

P – сумарна потужність калориферів, Вт;

U – лінійна напруга мережі, В;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності активного навантаження.

Для двокамерної печі обрано два ТРН з $I_n = 200 \text{ А}$ кожний виробництва АТ «ДІГ» (Запоріжжя, UA) [6]. Технічні дані наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Технічні дані ТРН 380-200-3 [6]

Найменування параметра	Од. вим.	Значення
1	2	3
Виробник (країна)	–	АТ «ДІГ» (UA)
Номінальна напруга	В	$380 \pm 20 \%$
Частота	Гц	50 ± 2
Номінальний струм	А	200
Тривалість 1,5-кратного перевантаження	с	≤ 10
Діапазон вихідної напруги / струму	В / А	$0 \dots U_n / 0 \dots I_n$
Похибка вимірювання СКЗ струму	%	± 4
Ступінь захисту / охолодження	–	IP22 / повітр. примусове
Температура навколишнього середовища	°С	$0 \dots +40$
Габарити В×Ш×Г	мм	$620 \times 192 \times 262$
Маса	кг	≤ 20

Функціональну схему регулювання температури наведено на рис. 2.1.

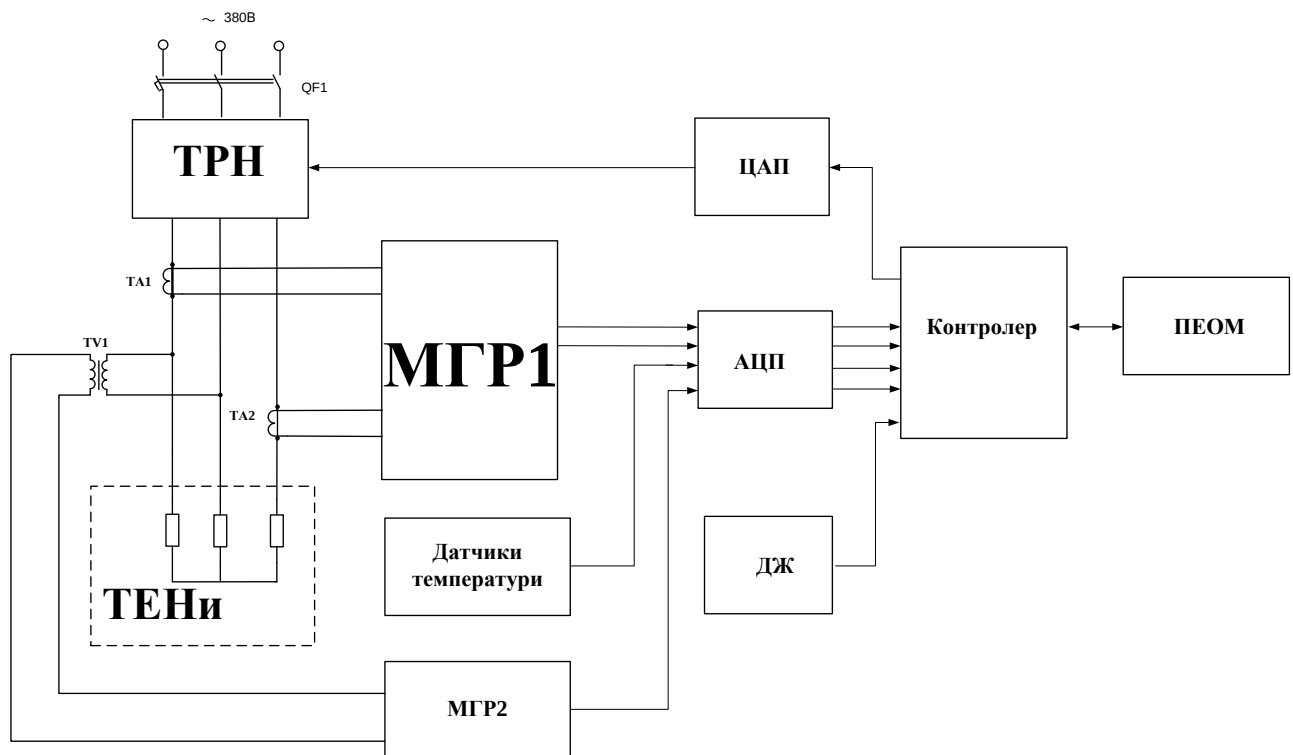


Рис. 2.1. Функціональна схема регулювання температури
(розроблено автором)

де:

АЦП- аналогово-цифровий перетворювач;

ТА1, ТА2 - датчики струму;

ДЖ - джерело живлення;

МГР - модуль гальванічної розв'язки;

ТРН - тиристорний регулятор напруги;

ЦАП - цифро-аналоговий перетворювач.

Багатоканальне джерело живлення (ДЖ) забезпечує перетворення вхідної змінної напруги мережі в постійний струм необхідних рівнів. При цьому формуються напруги із заданим ступенем стабільності, які можуть бути як гальванічно зв'язаними, так і електрично ізольованими одна від одної.

Мікропроцесорний контролер відповідає за формування робочих режимів пристрою відповідно до заданих параметрів. Для цього він реалізує наступні функції:

- генерування сигналів керування тиристорами;
- формування сигналів захисту та аварійного вимкнення тиристорного регулятора напруги (ТРН);
- прийом і передавання зовнішніх керуючих сигналів, інформаційних даних, а також сигналів завдання.

Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) призначений для приймання зовнішніх аналогових сигналів (температури, струму, напруги) та їх передавання в контролер у цифровій формі.

Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) забезпечує перетворення цифрових сигналів із контролера в аналоговий вигляд для подальшого використання в системі.

Модуль гальванічної розв'язки слугує для потенційного розділення силових і керуючих кіл, що підвищує завадостійкість та безпеку системи.

Персональна електронно-обчислювальна машина (ПЕОМ) використовується для керування режимами роботи, завдання та програмування необхідних параметрів, а також для індикації, сигналізації та візуального відображення поточних значень.

2.2.2 Особливості роботи ТРН 380-200-3

Вбудований регулятор струму безперервно відстежує фазні струми та коригує кут керування тиристорами, вирівнюючи струм навантаження до заданого значення [6]. ТРН функціонує у двох режимах: підтримання струму та пропорційного регулювання напруги.

Електрична схема забезпечує захисти від: перевантаження струмом ($> 150\%$); обриву фази в навантаженні або мережі; перегрівання радіатора;

неввімкнення тиристора; зниженої ($< 70 \%$) або підвищеної ($> 20 \%$) напруги мережі.

2.3 Розробка функціональної схеми системи

Функціональна схема автоматизації сушильної печі (рис. 2.2) працює так [7]: повітря прокачується вентилятором крізь калорифер, нагрівається й надходить до камери, де омиває вироби на візку. Охолоджене повітря повертається в циркуляційний повітропровід.

Термодатчики (поз. 4а, 5а) безперервно передають дані про температуру в камері і на виході до контролера, який аналізує відхилення і коригує теплову потужність калориферів. На початку сушіння температуру підтримують $100\text{--}110\text{ }^{\circ}\text{C}$ для видалення розчинників, далі підвищують до $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ (клас ізоляції А) для запікання лаку [7].

Якщо після кількох годин Різол залишається недостатнім, нагрівання відключають, дають обмоткам охолонути до $t_{\text{ок}} + (10\text{--}15)\text{ }^{\circ}\text{C}$, після чого цикл повторюється.

Датчики струму й напруги (поз. 3а, 2а) дозволяють регулювати напругу ТЕНів, захищати від КЗ і вести облік електроенергії. Після стабілізації Різол $\approx 50\text{ МОм}$ і витримки контрольного часу піч автоматично відключається. Керує процесом контролер ADAM-5000E (поз. 1в) [11].

Заслінки (позиція 1к), встановлені у вікнах повітропроводу для видалення відпрацьованого повітря, функціонують в автоматичному режимі. На початковій стадії сушіння, яка характеризується найбільш інтенсивним виділенням парів води чи розчинника, заслінки відкриваються на максимальний кут. У міру продовження процесу величина їх відкриття поступово зменшується. На другому етапі сушіння, коли відбувається запікання лакового покриття, заслінки повністю закриваються.

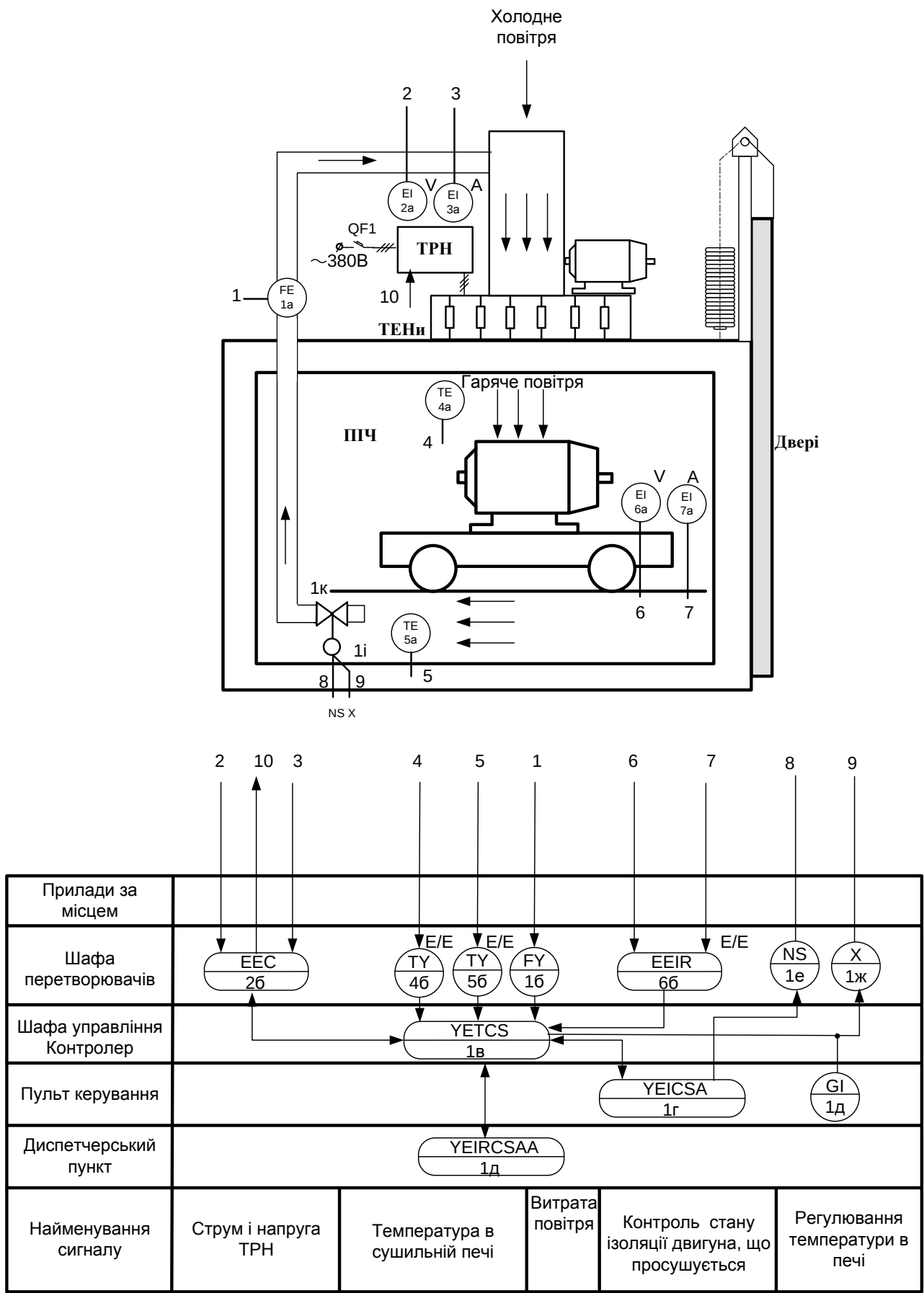


Рис. 2.2. Функціональна схема автоматизації сушильної печі
(розроблено автором)

У цей період піч функціонує без викиду повітря, тобто в режимі рециркуляції.

Керування переміщенням візка з виробами (заїзд у піч та виїзд із неї), а також автоматичне закривання та відкривання дверей здійснюється натисканням відповідних кнопок на пульті керування (позиція 1г).

2.4 Налаштування параметрів регулятора при зміні температури

Регулятор температури підтримує заданий тепловий режим об'єкта, що взаємодіє з рештою елементів установки та зовнішнім середовищем [5]. Зміна тепловіддачі, теплових втрат або потужності нагрівачів змінює температурний режим об'єкта.

Умова застосовності двопозиційного регулювання [5]:

$$\frac{\tau}{T} \leq 0,1 \quad (2.2)$$

τ – час транспортного запізнювання, с;

T – постійна часу об'єкта, с.

При ПД-законі потужність в навантаженні [5]:

$$\Delta P(t) = K_p \cdot \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int \varepsilon dt + T_d \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \right] \quad (2.3)$$

$\varepsilon(t)$ – різниця між заданою і фактичною температурою, °С;

K_p – коефіцієнт пропорційності;

T_i – постійна часу інтегрування, с;

T_d – постійна часу диференціювання, с.

Параметри ПД-закону для аперіодичного процесу [5]:

$$K_p = \frac{0,6 \cdot T}{K_{об} \cdot \tau}; \quad T_i = 2\tau; \quad T_d = 0,5\tau \quad (2.4)$$

Для процесу з допустимим перерегулюванням:

$$K_p = \frac{0,95 \cdot T}{K_{об} \cdot \tau}; \quad T_i = 2,4\tau; \quad T_d = 0,42\tau \quad (2.5)$$

Коефіцієнт пропорційності через незгасаючі коливання:

$$K_p = \frac{K_{кр} \cdot \Delta t_{доп}}{A} \quad (2.6)$$

$K_{кр}$ – підсилення при незгасаючих коливаннях з амплітудою A ;

$\Delta t_{доп}$ – допустима амплітуда коливань температури.

Криву зміни температури при стрибкоподібній зміні потужності (крива розгону) наведено на рис. 2.3.

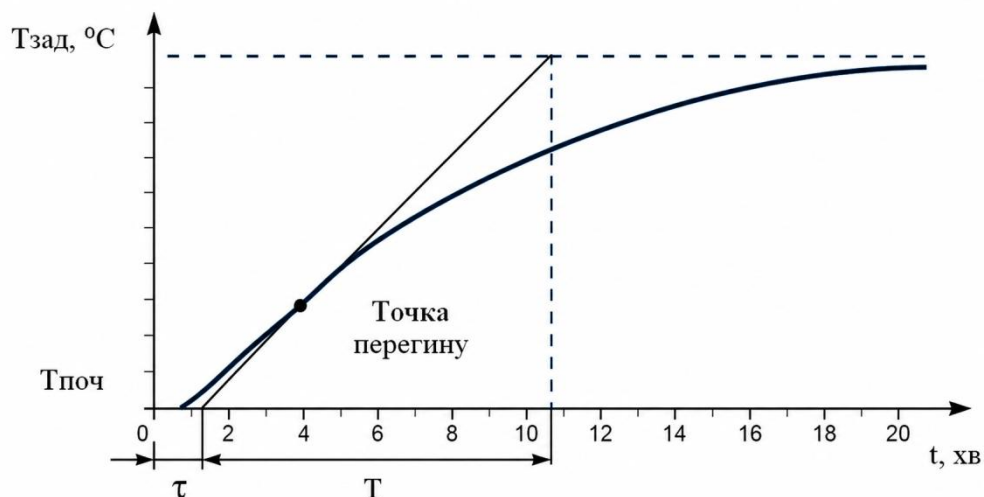


Рис. 2.3. Крива зміни температури при стрибкоподібній зміні потужності в навантаженні
(розроблено автором)

Алгоритм самоналаштування активується при вмиканні контролера або зміні заданої температури, якщо задана температура перевищує поточну більш ніж на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при $\delta = 25,0$) або $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при $\delta = 1,0$) [5]. Графік роботи контролера в режимі самоналаштування наведено на рис. 2.4.

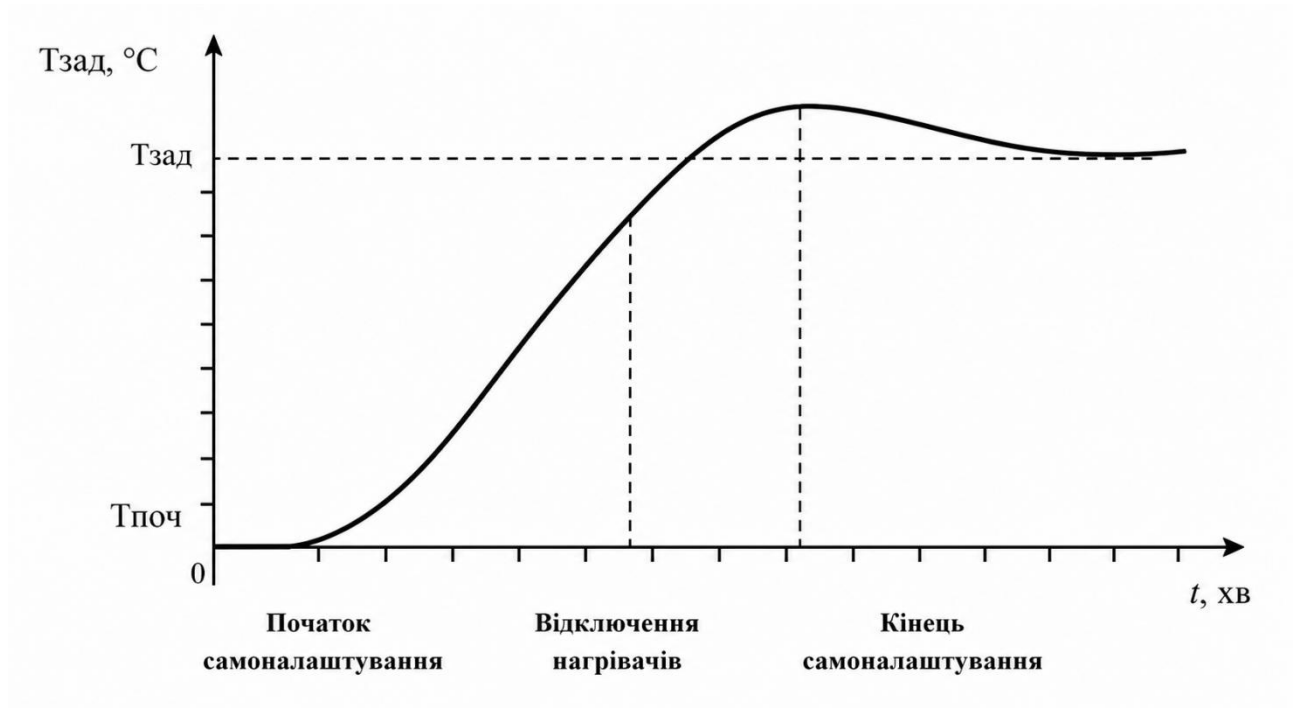


Рис. 2.4. Графік роботи контролера в режимі самоналаштування
(розроблено автором)

Після завершення самоналаштування нові параметри зберігаються в пам'яті, і контролер переходить у режим ПІД-регулювання. Поточна корекція коефіцієнтів не зберігається.

2.5 Вимірювання опору ізоляції в процесі сушіння двигуна

Під час сушіння опір ізоляції змінюється за характерною кривою. Мікропроцесорна система фіксує момент стабілізації $R_{\text{ізол}}$ при незмінній температурі й автоматично відключає піч, що запобігає пересушуванню лаку [4].

Основні схеми вимірювання ізоляції наведено на рис. 2.5–2.7.

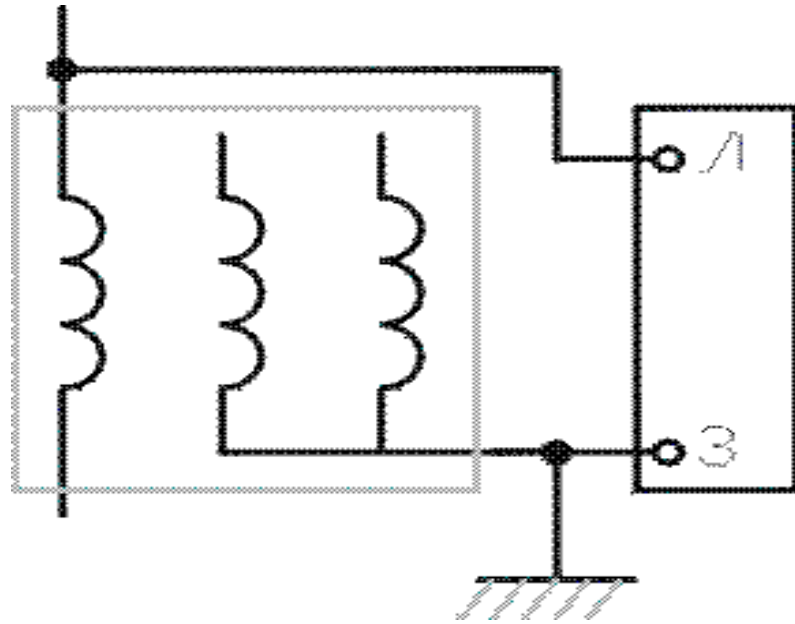


Рис. 2.5. Схема вимірювання опору ізоляції відносно корпусу і заземлених фаз

(розроблено автором з використанням [4])

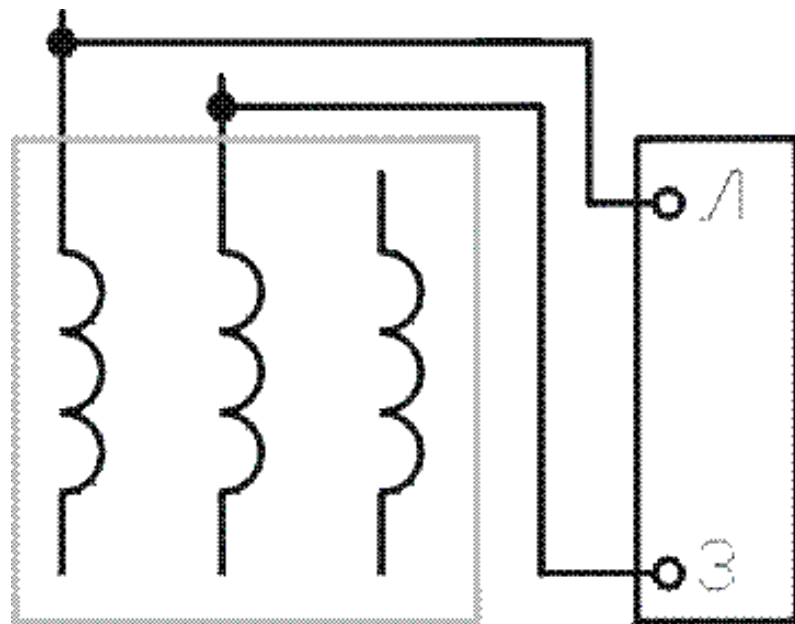


Рис. 2.6. Схема вимірювання опору ізоляції між фазами

(розроблено автором з використанням [4])

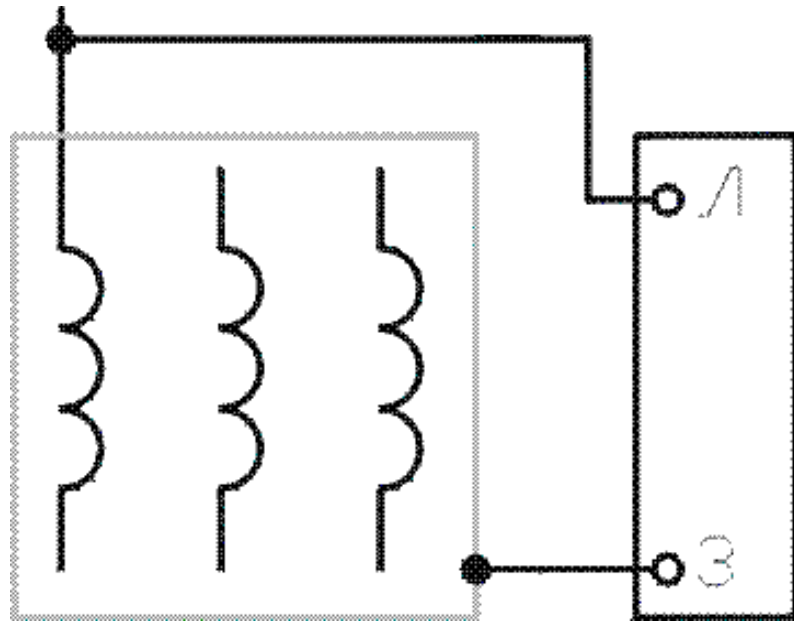


Рис. 2.7. Схема вимірювання опору ізоляції між кожною обмоткою і корпусом

(розроблено автором з використанням [4])

Контролер зчитує аналоговий сигнал струму через обмотки під час сушіння. Функціональну схему вимірювання $R_{\text{ізол}}$ наведено на рис. 2.8.

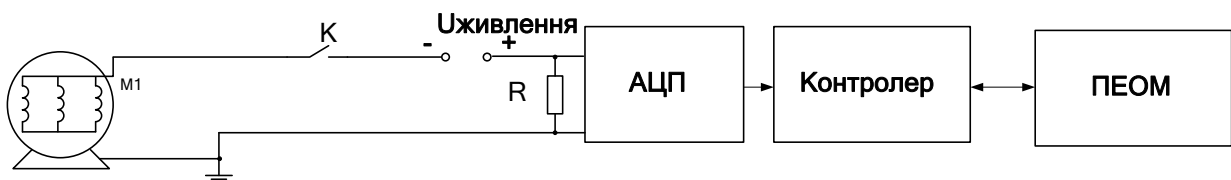


Рис. 2.8. Функціональна схема вимірювання опору ізоляції
(розроблено автором)

Фактичне значення опору ізоляції:

$$R_{\text{ізол}} = \frac{U_{\text{ж}}}{I_{\text{факт}}}, \quad (2.7)$$

де

$U_{\text{ж}}$ – напруга, подана на обмотку (константа), В;

$I_{\text{факт}}$ – фактичний струм у момент вимірювання, А.

Типову криву зміни $R_{\text{ізол}}$ наведено на рис. 2.9. Оптимальний час сушіння T_0 відповідає стабілізації опору. Добре просушені обмотки в гарячому стані мають $R_{\text{ізол}} \approx 50 \text{ МОм}$ [4].

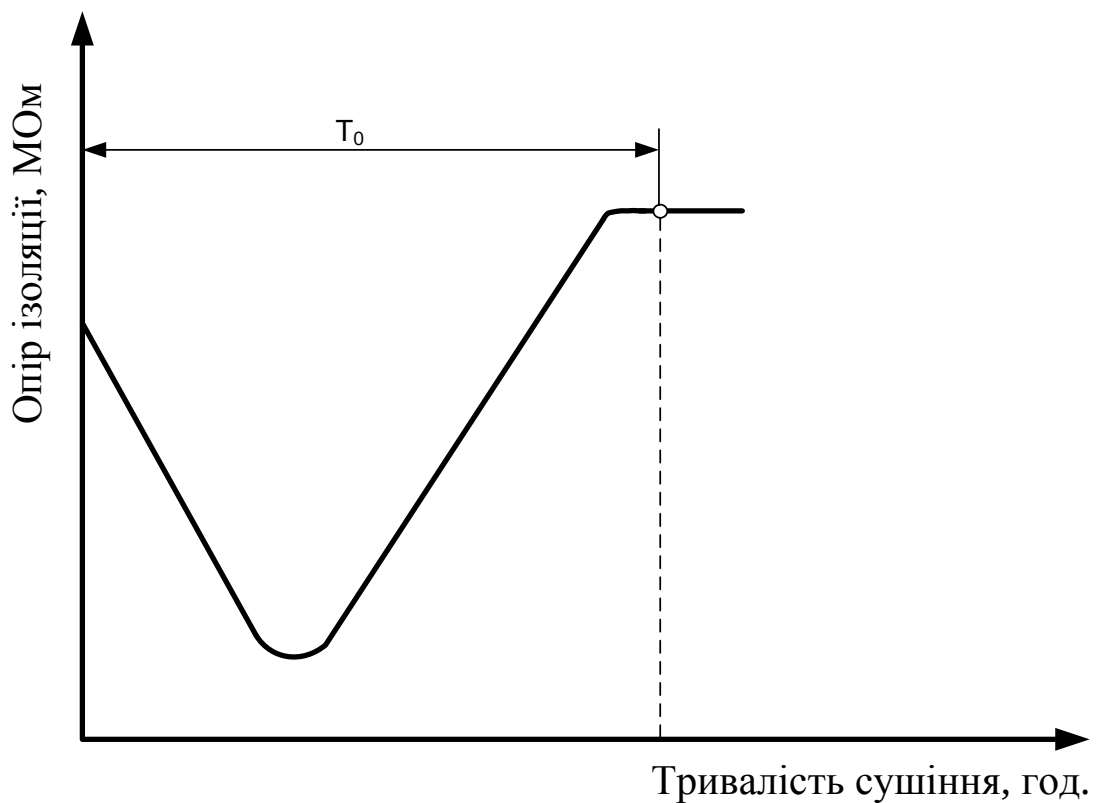


Рис. 2.9. Зміна опору ізоляції в процесі сушіння обмоток
(розроблено автором з використанням [4, с. 89])

2.6 Облік спожитої електроенергії

Для коректного розрахунку спожитої електроенергії необхідно враховувати характер роботи ТРН [5]. Тиристор відкривається при позитивній

напрузі на аноді після подачі керуючого імпульсу та закривається по закінченні напівхвилі. Вольт-амперну характеристику тиристора наведено на рис. 2.10.

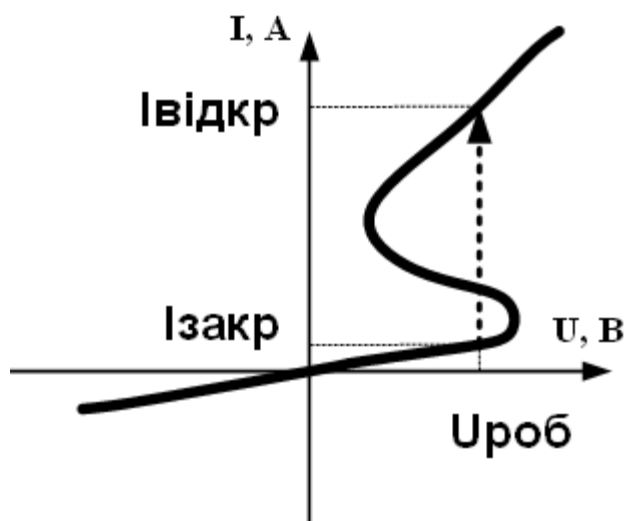


Рис. 2.10. Вольт-амперна характеристика тиристора
(розроблено автором з використанням [5])

Графіки зміни напруги та струму наведено на рис. 2.11.

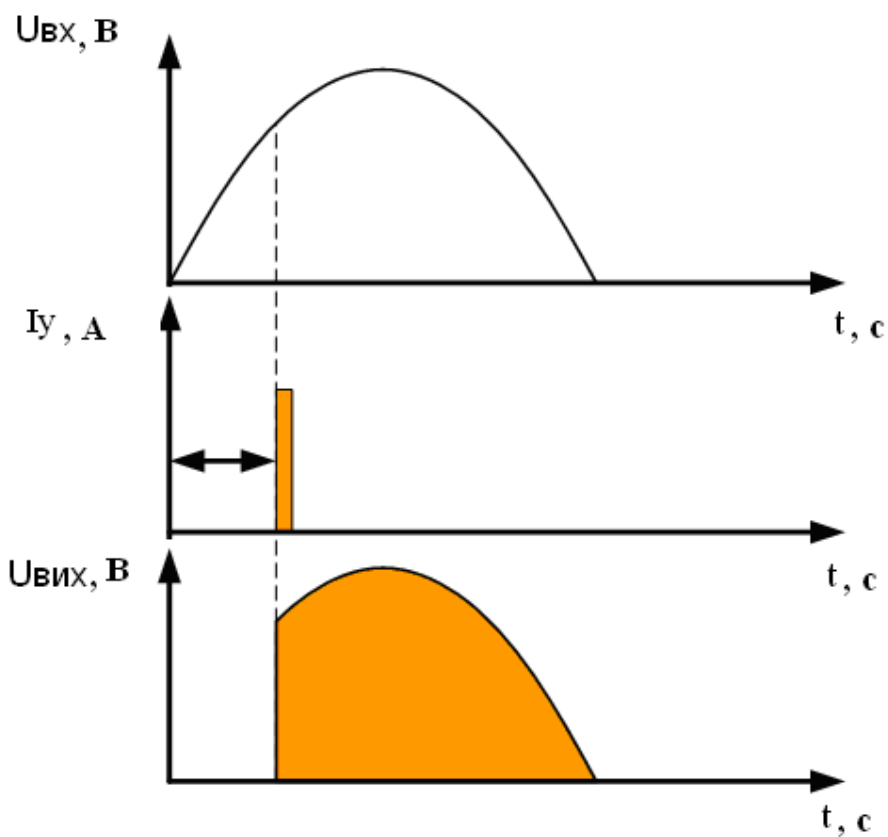


Рис. 2.11. Графіки зміни напруги на тиристорі
(розроблено автором з використанням [5])

Середній струм тиристора:

$$I_{cp} = \frac{I_m}{2\pi} \cdot (1 + \cos \alpha) \quad (2.8)$$

I_m – амплітуда струму, А;

α – кут регулювання, рад.

Діюче значення струму в навантаженні:

$$I_{cp} = \frac{I_m}{2 \cdot \sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{2 \cdot (\pi - \alpha) + \sin(2\alpha)} \quad (2.9)$$

2.7 Розрахунок необхідного інтервалу опитування датчиків і допустимої похибки

Сумарна похибка включає [8]: похибку МГР (1); похибку АЦП (2); методичну похибку дискретності (3); похибку обчислень (4). Складові $1+2 = 0,31\%$; 4 нехтується. Гранична методична похибка $3 = 4,69\%$.

На основі графіка зміни температури (рис. 2.12) визначено допустиме відхилення:

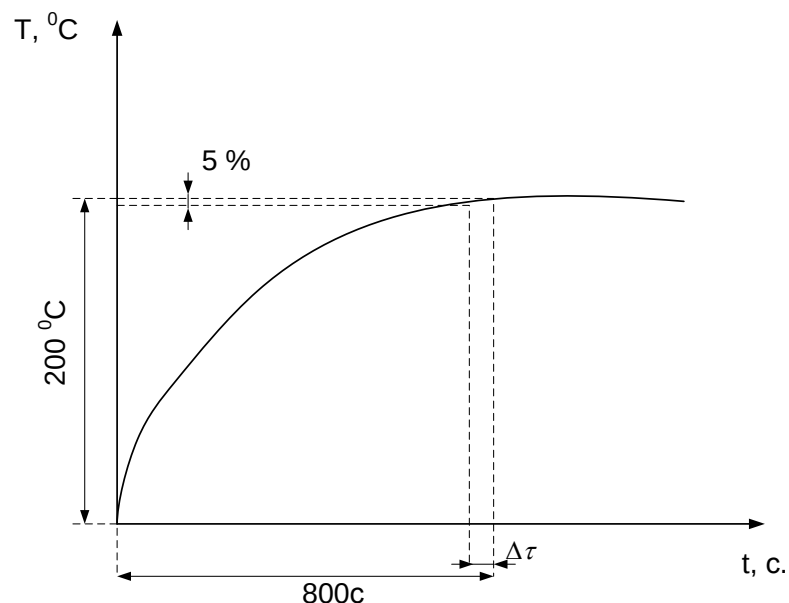


Рис. 2.12. Зміна температури обмоток у процесі сушіння
(розроблено автором)

$$\Delta T_{\text{доп}} = 0,0469 \cdot 200 = 9,38 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (2.10)$$

Максимальний інтервал між опитуваннями:

$$\Delta t = \frac{9,38 \cdot 800}{200} = 37,5 \text{ с} \quad (2.11)$$

Для надійності приймаємо:

$$\Delta t_{\text{факт}} = \frac{\Delta t}{2} = 18,75 \text{ с}; \quad f_{\text{оп}} = \frac{1}{\Delta t_{\text{факт}}} \approx 0,053 \text{ Гц} \quad (2.12)$$

2.8 Розробка алгоритму роботи сушильної печі

Алгоритм функціонування сушильної печі наведено на рисунку 2.13.

Запуск системи виконується оператором з пульта керування (блок 1). У блоці 2 здійснюється налаштування сталих величин (констант), які застосовуються в програмі, а також обчислюються початкові коефіцієнти ПІД-регулятора.

Алгоритм передбачає можливість роботи в режимі самоналаштування (автоматичного визначення параметрів). У цьому режимі в пам'ять записуються зміни температури при включенні нагрівальних елементів (ТЕНів) на повну потужність, причому температура не регулюється до досягнення значення $tu1$ – таким чином отримується перехідна характеристика. Для цього запис значень температури виконується частіше, ніж у звичайному режимі, тому цикл виконання програми скорочено в 10 разів. Значення $tu1$ приймається приблизно на 70% меншим від заданої температури (блоки 4-7).

Блок 8 забезпечує опитування датчиків температури, струму, напруги та витрати.

Для уникнення повторного включення вже активованого механізму контролер попередньо перевіряє його стан. Якщо механізм вимкнено – виконується включення, якщо вже працює – дія пропускається (блок 9).

Далі за допомогою тиристорного регулятора напруги живлення подається на ТЕНи (блоки 9, 10). Після досягнення температури t_{y1} починається регулювання з метою запобігання перегріву ізоляції (блоки 12-16). Для реалізації режиму самоналаштування (автоматичного підбору коефіцієнтів регулятора) використовується блок 16 «Аналіз результатів регулювання та корекція».

Наступними етапами роботи алгоритму є:

- вимірювання струму та напруги з подальшим розрахунком опору ізоляції обмотки двигуна в процесі сушіння (блоки 17, 18);
- облік витраченої електричної енергії (блоки 19, 20);
- автоматичне вимкнення сушильної печі після встановлення стабільного значення опору ізоляції при незмінній температурі (блоки 21–24);
- збереження на електронному носії інформації про температурний режим, опір ізоляції, тривалість та умови сушіння двигуна з подальшим виведенням даних на дисплей або паперовий носій (блоки 18, 20).

Після завершення всіх операцій програма повертається до початкового блоку.

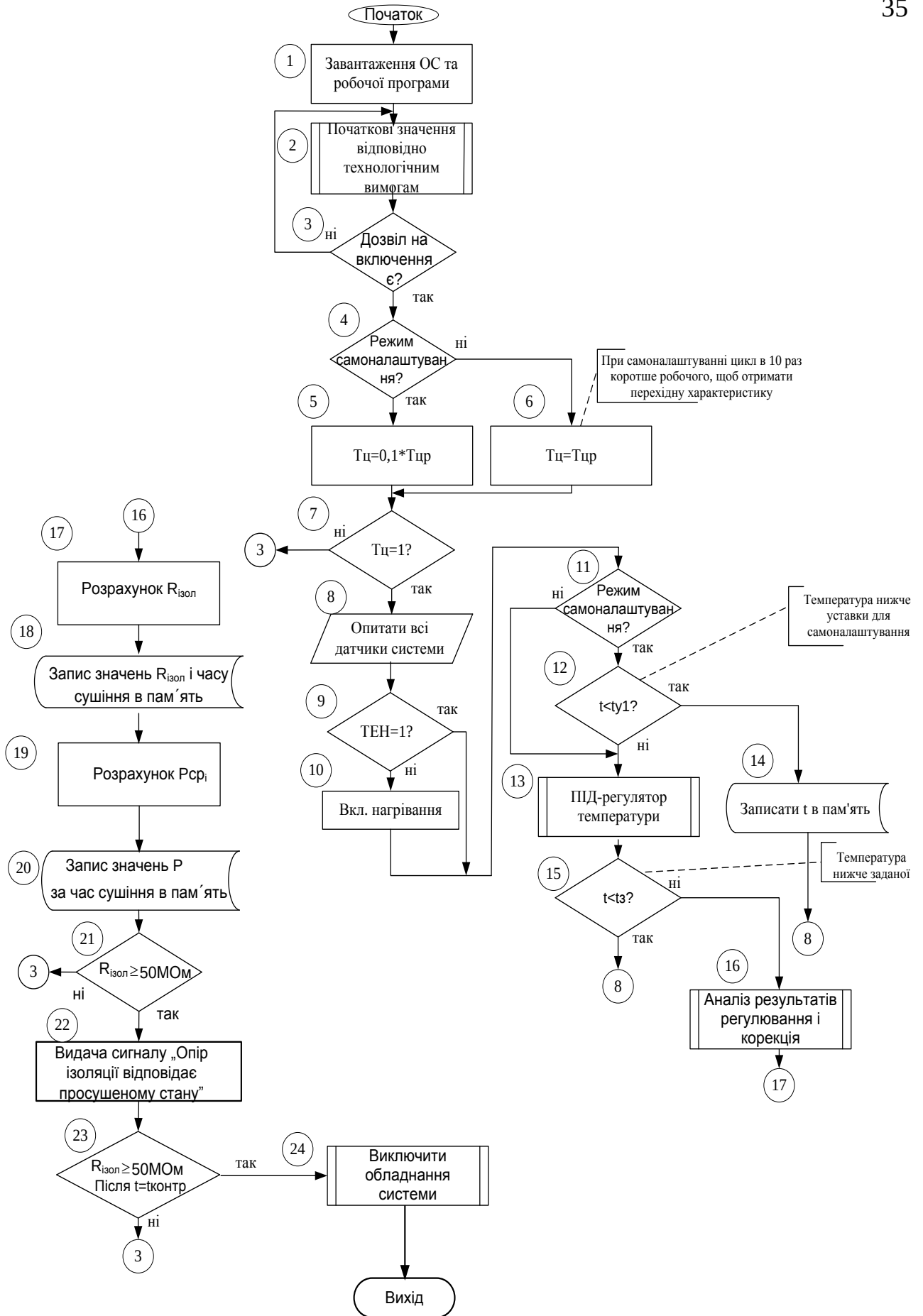


Рис. 2.13. Алгоритм керування сушильною піччю
(розроблено автором)

2.9 Перелік вхідних та вихідних сигналів

За стійкістю до температури й вологості блок контролера відповідає групі В1, датчики – С4 [9]. До атмосферного тиску – групі Р1, до вібрацій – N2. Необхідна кількість і тип входів-виходів наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Аналіз необхідної кількості й типу входів-виходів контролера

№	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Напруга живлення	В DC	24
2	Похибка АЦП	%	0,1
3	Мінімальна швидкість перетворення	Гц	0,004
4	Дискретні входи (Пуск, Стоп)	шт	2
5	Дискретні виходи (відключення ТЕНів)	шт	2
6	Аналогові входи (струм×4, Т×2, U×2, витрата×1)×2 камери	шт	18
7	Аналогові виходи (сигнал СІФУ)	шт	2
8	Порти RS-232	шт	1

2.10 Вибір технічних засобів

2.10.1 Датчик температури

Для вимірювання температури застосовано датчики ТХК 1087 виробництва НВО «Термоприлад» (м. Львів, UA) [10] – рис. 2.14. Датчики випускають у 71 заводському виконанні, що відрізняються конструкцією, схемою з'єднань, матеріалом арматур і довжиною монтажної частини.

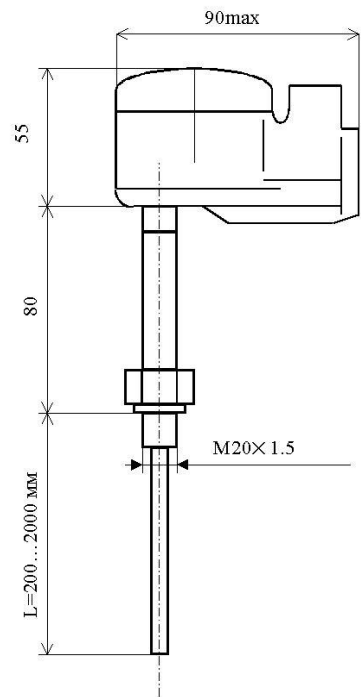


Рис. 2.14. Габаритне і установче креслення датчика температури ТХК 1087 ([10])

Технічні характеристики наведено в табл. 2.3 [10].

Таблиця 2.3

Технічні характеристики датчика температури ТХК 1087 [10]

№	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Виробник (країна)	—	НВО Термоприлад (UA)
2	Діапазон вимірювання	°C	0...+600
3	Показник теплової інерції	с	≤ 20
4	НСХ	—	K(L)
5	Тиск робочого середовища	МПа	16
6	Ступінь захисту	—	IP55
7	Вібростійкість	—	N4
8	Матеріал арматур	—	Сталь 12X18H10T

2.10.2 Датчик витрати

Для вимірювання витрати повітря застосовано витратомір 454FT виробництва KURZ Instruments, Inc. (США) [12] – рис. 2.15. Прилад визначає об'ємну та масову витрату за термоанемометричним принципом: сила струму для підтримання різниці температур між стрижнями сенсора пропорційна масовій витраті газу.



Рис. 2.15. Зовнішній вигляд витратоміру газу серії 454FT ([12])

Технічні характеристики наведено в табл. 2.4 [12].

Технічні характеристики витратоміру газу 454FT [12]

№	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Виробник (країна)	–	KURZ Instruments (US)
2	Т сенсора робоча	°C	– 40...+500
3	Матеріал сенсора	–	сплав C276
4	Т електроніки робоча	°C	– 40...+65
5	Номінальний тиск	bar	20,5
6	Час відгуку	с	1
7	Діаметр труб	мм	від 65 і вище
8	Вихідний сигнал	мА	4-20

2.10.3 Джерело живлення

Живлення контролера забезпечує MEAN WELL HDR-60-24 (MEAN WELL Enterprises Co., Ltd., TW) [13] – компактне DIN-рейкове джерело з функцією заряду акумулятора. Технічні характеристики в табл. 2.5 [13].

Технічні характеристики джерела живлення MEAN WELL HDR-60-24 [13]

№	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Виробник (країна)	–	MEAN WELL (TW)
2	Вхідна напруга	В AC	85–264
3	Вихідна напруга / струм	В DC / А	24 / 2,5
4	Вихідна потужність	Вт	60
5	ККД	%	≥ 89,5
6	Захист від перенапруги	В	27,6–32,4
7	Діапазон робочих температур	°C	–30...+70
8	Ступінь захисту	–	IP20 / DIN- рейка

2.11 Компонування управляючого обчислювального комплексу**2.11.1 Вибір контролера**

ADAM-5000E (ADVANTECH Co., Ltd., TW) – серія промислових контролерів на 16-розрядному процесорі Intel x86 з ОС Datalight ROM-DOS [11]. Статичне ОЗУ з батарейним живленням забезпечує тривале зберігання даних. Для розробки програм використовують C/C++ і компілятор Borland Turbo C.

Технічні характеристики ADAM-5000E наведено в табл. 2.6 [11].

Технічні характеристики контролера ADAM-5000E [11]

№	Параметр	Значення / коментар
1	Виробник (країна)	ADVANTECH (TW)
2	Процесор / ОС	16-розр. Intel x86 / ROM-DOS
3	Флеш-ПЗУ / Flash / ОЗУ	256 / 256 / 256 Кбайт
4	Порти COM1/COM2/COM3	RS-232 / RS-485 / RS-232
5	Кількість модулів В/В	до 8 (128 каналів)
6	Ізоляція RS-485 / модулів	2500 / 3000 В DC
7	Живлення	10–30 В DC
8	Т роб. / зберіг.	–10...+70 / –25...+85 °С
9	Вологість	5–95 % (без конд.)
10	Споживана потужність	1,0 Вт

Схему компонування УОК наведено на рис. 2.16. Три незалежні комунікаційні порти забезпечують зв'язок з операторською панеллю (COM1 RS-232), мережею (COM2 RS-485) та додатковим обладнанням (COM3 RS-232) [11].

Для введення та виведення сигналів обрано модулі: ADAM-5018P (7 кан. термопар, 16-біт), ADAM-5017H (8 кан. аналог. введення, 12-біт+знак, 8 кГц), ADAM-3112 (нормалізатор 0–450В→0–5В), ADAM-5024 (4 кан. аналог. виведення, 12-біт), ADAM-5055S (8 диск. вх. + 8 диск. вих., 2500 В DC ізоляція) [11].

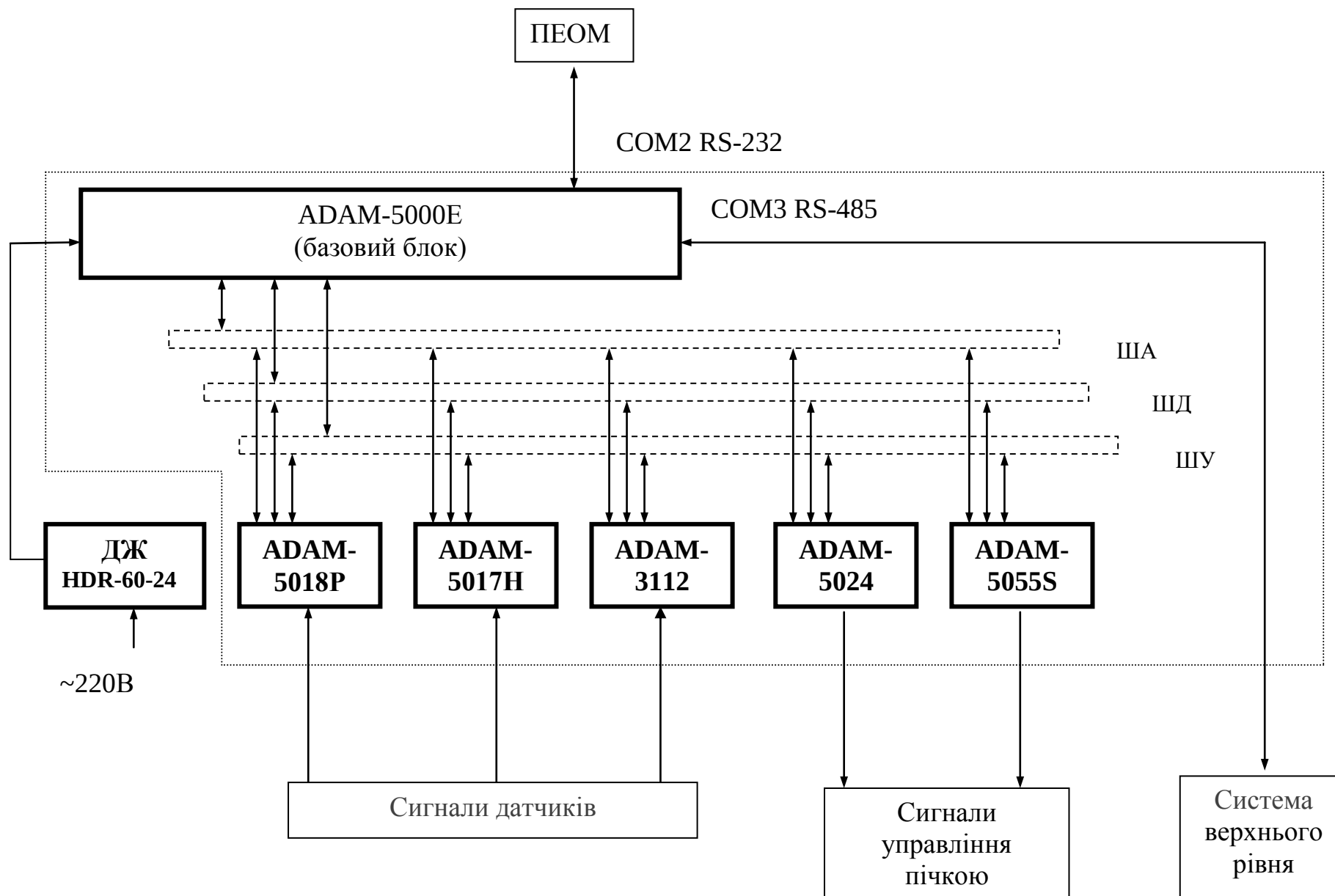


Рис. 2.16. Схема компонування УОК системи керування сушильною пічкою
(розроблено автором з використанням, [11])

Шина даних (ШД) призначена для пересилання фактичних даних між елементами обчислювальної системи. Вона забезпечує передачу двійкових бітів від одного пристрою до іншого, що дає змогу обмінюватися інформацією.

Шина керування (ШУ) використовується для передавання сигналів, які здійснюють управління функціонуванням компонентів системи. До таких сигналів належать команди читання або запису даних, перемикання робочих режимів, тактові імпульси синхронізації, а також інші сигнали, що контролюють роботу системи.

Сукупність цих трьох шин (адреси, даних та керування) забезпечує узгоджену взаємодію різних компонентів комп'ютерної системи, керування інформаційними потоками та передачу даних.

COM-порт (Communication Port) — це тип порту, призначений для зовнішнього зв'язку та обміну даними між комп'ютером і периферійними пристроями. До таких пристроїв належать модеми, принтери, сканери, мікроконтролери та інше обладнання.

2.12 Моделювання САР температури сушильної печі

Об'єкт регулювання – ділянка від зміни напруги на ТЕНах до датчика температури. Канал регулювання температури сушильної печі апроксимується передатною функцією [14]:

$$W_{об}(p) = \frac{K_{об} \cdot e^{(-\tau_{об} \cdot p)}}{T_{об} \cdot p + 1}, \quad (2.13)$$

де

$K_{об} = 2,5$ – коефіцієнт підсилення об'єкта;

$T_{об} = 300$ с – постійна часу;

$\tau_{об} = 28$ с – час чистого запізнювання.

Вимоги до якості: статична помилка $x_{ст} \leq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$; аперіодичний перехідний процес; $t_p \leq 600 \text{ с}$. Структурну схему моделювання наведено на рис. 2.17.

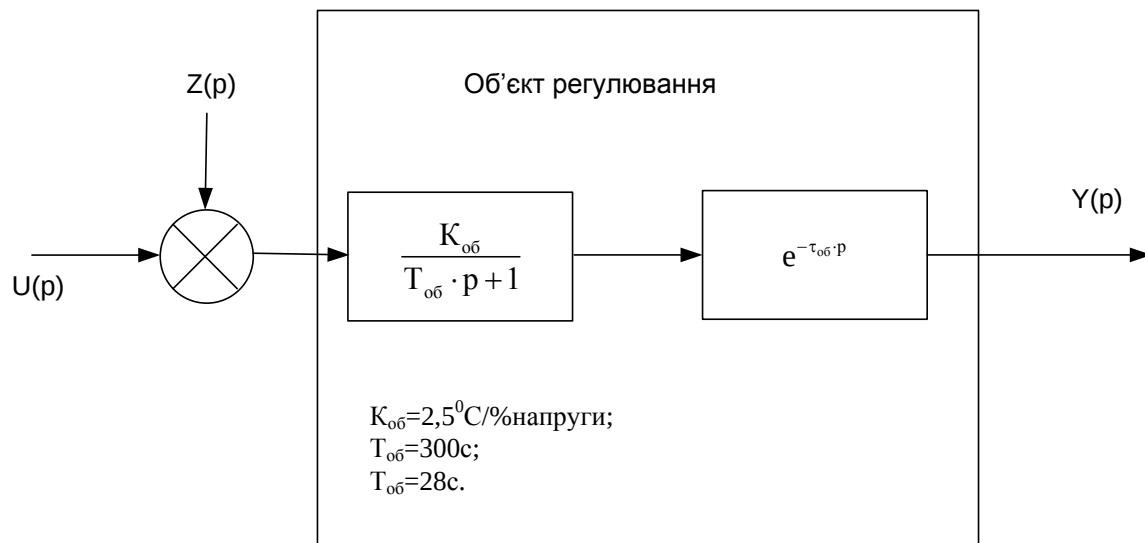


Рис. 2.17. Структурна схема об'єкта регулювання при подачі стрибкоподібного збурення
(розроблено автором)

Коефіцієнти ПІ-регулятора для аперіодичного процесу [14]:

$$K_p = \frac{0,6 \cdot T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}} = \frac{0,6 \cdot 300}{2,5 \cdot 28} = 2,57 \quad (2.14)$$

$$T_i = 0,6 \cdot T_{об} = 0,6 \cdot 300 = 180 \text{ с} \quad (2.15)$$

$$K_i = \frac{1}{T_i} = \frac{1}{180} = 0,0055 \quad (2.16)$$

Моделювання в SIMULINK [15] при стрибкоподібній зміні завдання на $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ показало: максимальне динамічне відхилення $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$, час перехідного процесу 500 с (рис. 2.19). Обидва показники задовольняють вимоги технології.

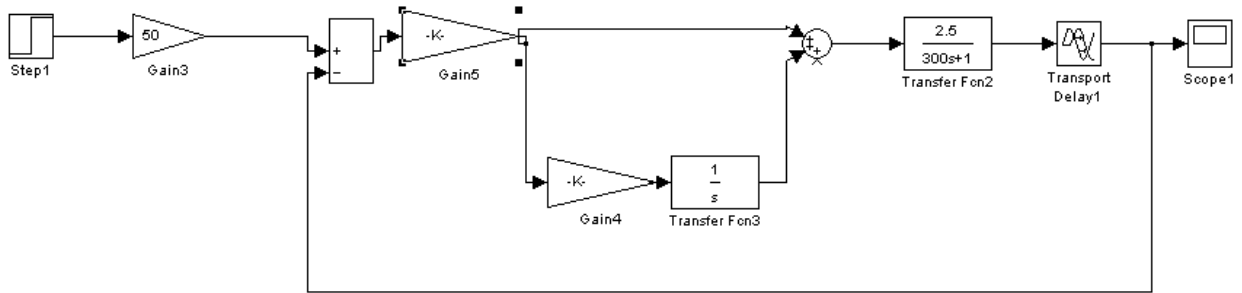


Рис. 2.18. Схема моделювання САР температури сушильної печі при стрибкоподібній зміні завдання на 50°C
(розроблено автором)

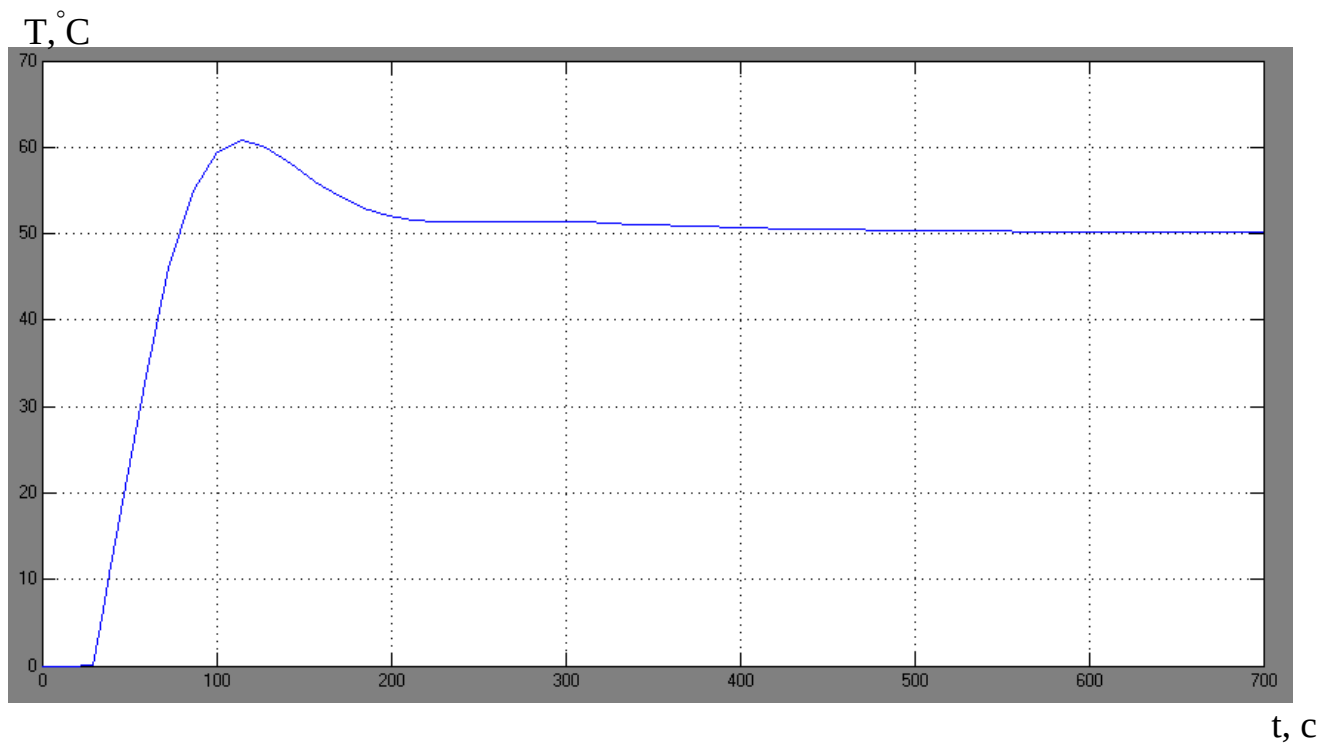
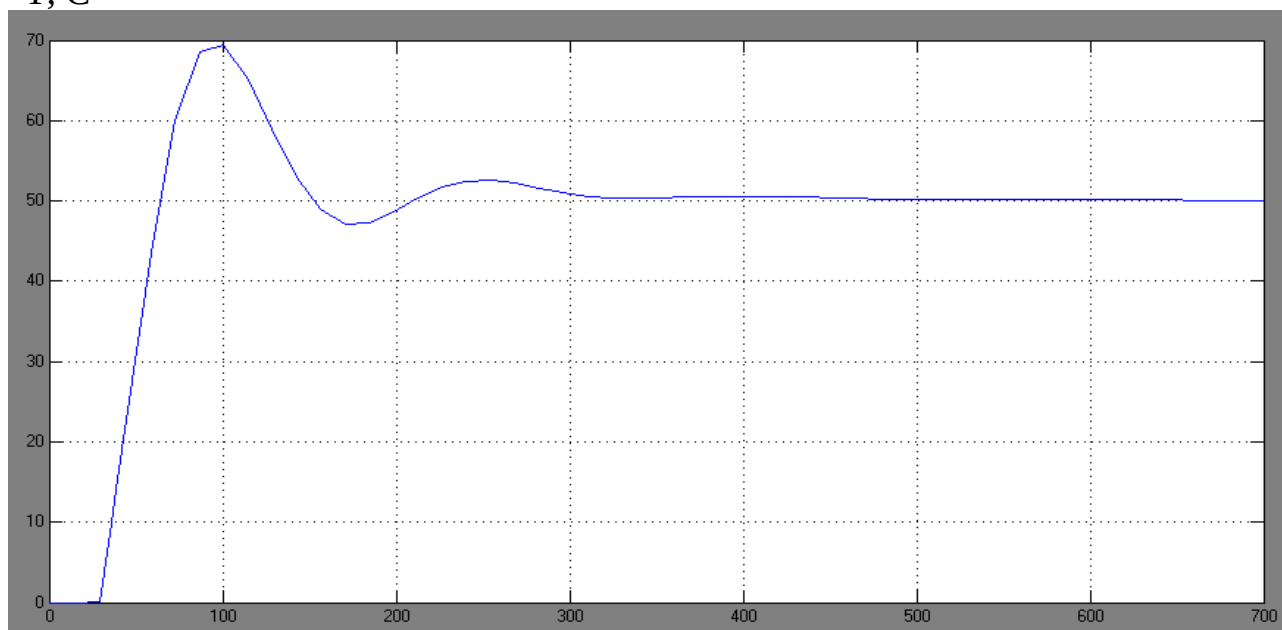


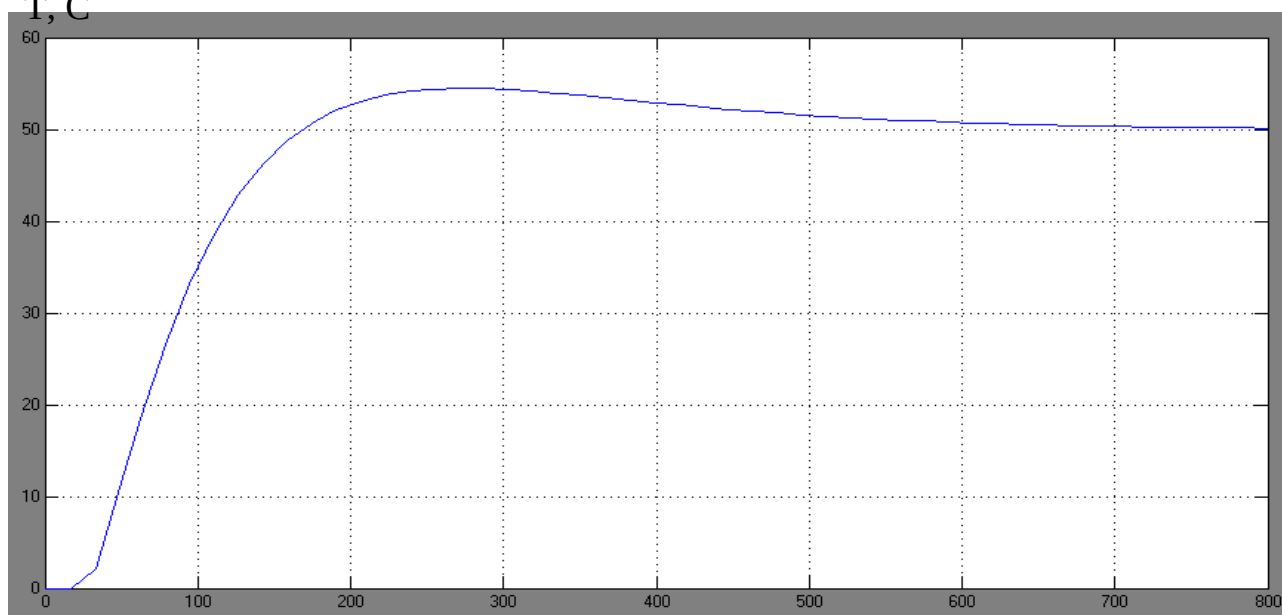
Рис. 2.19. Графік перехідного процесу при зміні заданого значення температури ($K_p = 2,57$)
(розроблено автором)

$T, ^\circ\text{C}$

46

**Рис. 2.20. Графік перехідного процесу при $K_r=3,4$** $t, \text{с}$

(розроблено автором)

 $T, ^\circ\text{C}$ **Рис. 2.21. Графік перехідного процесу при $K_r=1,3$** $t, \text{с}$

(розроблено автором)

З наведених графіків видно: збільшення K_r прискорює вихід на задане значення, але збільшує перерегулювання; зменшення K_r – навпаки. Остаточні параметри уточнюються під час пуско-налагоджувальних робіт.

2.13 Заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності

Заходи з охорони праці реалізуються відділом техніки безпеки, державною інспекцією, профспілкою та медико-санітарною частиною підприємства відповідно до вимог [16].

2.13.1 Вибір і характеристика будівельного майданчика

У межах роботи зміна класу шкідливості виробництва не передбачена, тому вибір будівельного майданчика не потрібен.

2.13.2 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів ЕРЦ

Персонал ЕРЦ зазнає впливу шуму, вібрації, теплового випромінювання, парів лаків і розчинників [18]. Небезпечні фактори наведено в табл. 2.7. Нормативні й фактичні параметри мікроклімату – в табл. 2.8 [19].

Таблиця 2.7

Перелік небезпечних виробничих факторів ЕРЦ [16]

№	Фактор	Вплив	Захисні заходи
1	Зона дії кранів	Травмування	Роботу виконувати поза зоною
2	Ураження електрострумом	Електрична травма	Правила електробезпеки [16]
3	Леткі частки лаків	Пожежо-, вибухонебезпека	Вентиляція, ЗПГ
4	Теплове випромінювання	Перегрів	Екранування, теплозахист
5	Транспорт на території	Наїзд	Дотримання ПДР

Фактичні й допустимі значення параметрів мікроклімату [19]

Параметр	Од. вим.	Факт. (тепл.)	Факт. (хол.)	Норм. (тепл.)	Норм. (хол.)
Температура	°C	23-26	19-25	20-23	22-25
Вологість	%	55	75	40-60	40-60
Швидкість повітря	м/с	0,2-0,5	0,2	0,25	0,2
Освітленість	лк	85	85	100	100

2.13.3 Заходи щодо зниження шкідливих і небезпечних чинників

Для зменшення вібрацій між вібруючими машинами і основою встановлюють пружні елементи. Для поглинання вібрації листових деталей наносять шар гуми або мастиків. Сушильно-просочувальне відділення оснащують приточно-витяжною вентиляцією і засобами пожежогасіння. Забезпечують воднево-сольовий режим питної води (4–5 л/людину за зміну) [18].

2.13.4 Розрахунок рівномірного освітлення

Розраховано систему загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання [17]. Вихідні дані: $a = 12$ м, $b = 5$ м, $H = 3,2$ м; $\rho_{ст} = 70$ %, $\rho_{ст.ш} = 50$ %; $H_p = 0,7$ м; тип УПМ-15; $H_c = 0,5$ м; $E = 100$ лк.

Висота підвісу над підлогою:

$$H_{п} = H - H_c = 3,2 - 0,5 = 2,7 \text{ м} \quad (2.17)$$

Висота підвісу над робочою поверхнею:

$$h = H_{\text{п}} - H_{\text{р}} = 2,7 - 0,7 = 2,0 \text{ м} \quad (2.18)$$

Рекомендована відстань між світильниками ($\lambda = 1,4$):

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,0 = 2,8 \text{ м} \quad (2.19)$$

Кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{12 \cdot 5}{2,8^2} \approx 7,65 \rightarrow 14 \text{ шт.} \quad (2.20)$$

Показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{12 \cdot 5}{2,0 \cdot 17} = 1,76 \quad (2.21)$$

При $i = 1,76$, $\rho = 70/50 \%$ коефіцієнт використання $\eta = 0,58$ [17].

Потрібний світловий потік лампи:

$$\Delta\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot k_{\text{з}} \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{100 \cdot 60 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{14 \cdot 0,58} \approx 1025 \text{ лм}, \quad (2.22)$$

де $k_{\text{з}} = 1,4$ – коефіцієнт запасу;

$z = 1,1$ – коефіцієнт нерівномірності освітленості.

Обрано лампу Б-100 (100 Вт, $\Phi_{\text{л}} = 1090$ лм). Відхилення $+6 \%$ не перевищує норму $+20/-10 \%$ [17]. Сумарна потужність: $P_{\text{Н}} = 100 \times 14 = 1400$ Вт.

2.13.5 Засоби індивідуального захисту

Видача ЗІЗ згідно з [16]: костюм бавовняний – 12 міс.; черевики – 12 міс.; зимова куртка – 36 міс.; каск – 24 міс.; окуляри захисні – 6 міс. При роботі з токсичними матеріалами додатково застосовують захисні креми і пасти.

2.13.6 Санітарно-побутові приміщення

Виробничий процес ЕРЦ відноситься до групи Пб [18]. Чисельність – 31 особа, 33 шафи (подвійні, 50×40×165 см), 10 душових сіток, 2 крани умивальників, їдальня 32 місця, 2 убиральні.

2.13.7 Пожежна безпека

Приміщення – категорія «Д» [18], клас П-2а. Встановлено вуглекислотні вогнегасники ВВ-2, ВВ-5, ВВ-8. Пожежні щити: 1 шт. на 5000 м², укомплектовані 3 вогнегасниками, ящиком з піском, покривалом, 2 баграми, 2 ломами, 2 лопатами і 2 сокирами [19]. У разі пожежі – евакуація за схемами та виклик за номером 101.

ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі досліджено технологічний процес сушіння обмоток в ЕРЦ. Встановлено, що чинна система не має об'єктивного критерію завершення сушіння: рішення приймає оператор суб'єктивно, що спричиняє пересушування лаків і надмірне споживання електроенергії.

Розроблено мікропроцесорну систему регулювання теплового режиму сушильної печі на базі контролера ADAM-5000E (ADVANTECH, TW), датчиків ТХК 1087 (НВО «Термоприлад», UA), витратоміру 454FT (KURZ Instruments, US), тиристорного перетворювача ТРН-3 (АТ «ДІГ», UA) та джерела живлення MEAN WELL HDR-60-24 (MEAN WELL, TW). Розроблені алгоритм і функціональна схема автоматизації забезпечують похибку підтримання температури $\Delta T \leq 5 \%$.

Моделювання системи в SIMULINK підтвердило: при стрибкоподібній зміні завдання на 50 °C максимальне динамічне відхилення становить 12 °C, час перехідного процесу – 500 с, що задовольняє вимогам технології.

Впровадження системи виключає суб'єктивний чинник, запобігає пересушуванню ізоляційного лаку й забезпечує архівування параметрів сушіння з виведенням на дисплей або принтер.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Технологічна документація ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»: Регламент роботи ЕРЦ. – Кривий Ріг, 2026. – 45 с.
2. Чорний О. П., Бойко А. А., Луговой О. В. Технічне обслуговування та ремонт електрообладнання. – Кременчук : КДПУ, 2006. – 248 с.
3. Загірняк М. В., Бранспіз Ю. А., Мазуренко І. Л. Електричні машини : підручник. – Київ : Каравела, 2009. – 448 с.
4. Алексієв В. О. Ремонт і монтаж електрообладнання. – Харків : ХНАМГ, 2011. – 316 с.
5. Ковриго Ю. М., Кісь Т. Г., Жук Л. М. Проектування систем автоматичного регулювання. – Київ : НТУУ «КПІ», 2010. – 164 с.
6. АТ «ДІГ». ТРН-380-200-3 : Технічна документація. – Запоріжжя, 2019. – 38 с.
7. Лукас В. А. Теорія автоматичного управління. – Київ : Техніка, 2004. – 464 с.
8. Мелітопольський А. В. Метрологія і засоби вимірювання. – Харків : ХНУРЕ, 2012. – 212 с.
9. ДСТУ EN 60721-3-3:2016. Класифікація умов навколишнього середовища. Ч. 3-3. – Київ : ДП УкрНДНЦ, 2016. – 14 с.
10. НВО «Термоприлад». ТХК 1087 : технічна документація. – Львів, 2018. – 22 с.
11. ADVANTECH Co., Ltd. ADAM-5000E User Manual. – Taipei, Taiwan, 2020. – 156 p.
12. KURZ Instruments, Inc. Series 454FT Instruction Manual. – Monterey, CA, USA, 2019. – 64 p.
13. MEAN WELL Enterprises Co., Ltd. HDR-60 Series Datasheet. – New Taipei City, Taiwan, 2022. – 4 p.
14. Кубрак А. І., Дем'яненко О. С. Автоматизація технологічних процесів та виробництв. – Київ : Аграрна наука, 2009. – 334 с.

15. Матвієнко М. П. Комп'ютерне моделювання систем АК у MATLAB/Simulink. – Київ : Кафедра, 2013. – 112 с.
16. НПАОП 27.0-1.01-08. Правила охорони праці під час технічної експлуатації електроустановок. – Київ, 2008. – 82 с.
17. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 136 с.
18. Наказ МНС України № 833 від 25.11.2004. Правила пожежної безпеки в Україні. – 55 с.
19. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – Київ : МОЗ, 1999. – 16 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

151-23-2026ар6

Автор

151-23-2026ар6

Науковий керівник / Експерт

Модло Є

ІД документу

334133592

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

6/2/2026

Дата редагування

—

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



КП 1

5787

Кількість слів



КЦ

40932

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		34
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		14

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копію тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Копію тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
---	--	--

**ЗГОДА здобувачки вищої освіти
Державного університету економіки і технологій про перевірку
кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету**

Я, *Вовк Оксана Олексіївна*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система керування процесом сушіння електричних машин в електроремонтному цеху ПАТ «АМКР» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавала і не одержувала недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомена. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформована, що відповідно до «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомена.

1.06.2026