

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Автоматизована система управління краном з гнучкою підвіскою»

Виконав студент 2 курсу, групи АТ-29м
спеціальності 174 “ Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка”


Перцов Антон Андрійович

(прізвище та ініціали студента)

Керівник:  к.т.н., доц. Гуменюк А.А.

(науковий ступінь, вчене звання, посада,
прізвище та ініціали)

 Рецензент: д.т.н., проф., Подчашинський Ю.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада,
прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”
Факультет комп’ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Спеціальність 174 “Автоматизована система опалення з використанням надлишкового тепла”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри робототехніки,
електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна
к.т.н., доц. Громовий О.А.
« 17 » грудня 2025р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Студент Перцов Антон Андрійович

1. Тема роботи: Автоматизована система опалення з використанням надлишкового тепла

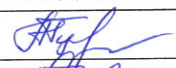
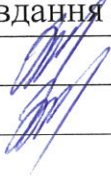
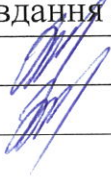
2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «3» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: матеріали звіту про переддипломну практику, характеристики джерела надлишкового тепла та димових газів, конструктивні параметри газоходів і димарів, потреби об’єкта в опаленні, параметри теплоносія та циркуляційної системи, вимоги до очищення димових газів і самоочищення газоходів, характеристики матеріалів димаря й теплопровідного елемента, засоби вимірювання та керування, вимоги до надійності, безпеки й аварійного захисту

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці):
технічне завдання, аналіз системи опалення з використанням надлишкового тепла, розробка конструктивної схеми газоходів і димарів, схем очищення димових газів та самоочищення газоходів, розробка циркуляційної системи теплопередачі й гідравліки, системи автоматичного керування та захисту, вибір матеріалів димаря й теплопровідного елемента, вибір та обґрунтування елементної бази, забезпечення надійності й безпеки системи.

5. Перелік презентативного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових слайдів/креслень): загальна схема системи опалення з використанням надлишкового тепла, конструктивна схема газоходів і димарів, схема очищення димових газів, схема самоочищення газоходів і димарів, схема циркуляції теплоносія, структурна та функціональна схеми автоматичного керування й захисту, блок-схема алгоритму роботи системи, характеристики обраних матеріалів та елементної бази

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1, 2	Гуменюк А.А.		
3,4	Гуменюк А.А.		

7. Дата видачі завдання 22.09.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підготувати звіт про переддипломну практику	1 Тиждень	Виконано
2.	Збір та аналіз джерел за темою роботи, огляд існуючих систем	1 Тиждень	Виконано
3.	Вибір і обґрунтування технічних та програмних засобів	2 Тиждень	Виконано
4.	Розробка структурної, функціональної та блок-схеми	3 Тиждень	Виконано
5.	Аналіз отриманих результатів	4 Тиждень	Виконано
6.	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	4 Тиждень	Виконано

Студент


(підпис, дата)

А.А. Перцов

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис, дата)

А.А. Гуменюк

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ ТА ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС СИСТЕМИ.....	8
2. КОНСТРУКТИВНА СХЕМА ГАЗОХОДІВ І ДИМАРІВ.....	19
3. ЗАГАЛЬНА СХЕМА ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ.....	29
4. СИСТЕМА САМООЧИЩЕННЯ ГАЗОХОДІВ І ДИМАРІВ.....	39
5. ЦИРКУЛЯЦІЙНА СИСТЕМА ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ТА ГІДРАВЛІКИ.....	42
6. СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ.....	46
7. ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДИМАРЯ ТА ТЕПЛОПРОВІДНОГО ЕЛЕМЕНТА, ПРИЄДНАНОГО ДО ДИМАРЯ.....	48
8. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ.....	50
9. ПИТАННЯ НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ.....	64
ВИСНОВОК.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТКИ.....	68

ВСТУП

Актуальність теми. Енергетичні ресурси відіграють ключову роль у функціонуванні сучасного суспільства, визначаючи не лише рівень розвитку промисловості, а й умови праці, комфорт та безпеку людей. Упродовж останніх років проблема ефективного використання енергії набула особливої актуальності у зв'язку зі зростанням споживання, обмеженістю ресурсів та підвищенням вимог до екологічної відповідальності виробництва. У таких умовах все більшого значення набувають технології, спрямовані не лише на генерацію теплової енергії, а й на її раціональне використання та повторне залучення у виробничі й інженерні системи.

Багато промислових процесів супроводжуються утворенням значних обсягів тепла, яке не використовується за прямим призначенням і відводиться у навколишнє середовище. Такі теплові втрати, на перший погляд неминучі, фактично є прихованим енергетичним резервом. За умови правильного технічного підходу це тепло може бути залучене до систем опалення, зменшуючи потребу в додаткових джерелах енергії та знижуючи загальні експлуатаційні витрати. Використання надлишкового тепла відкриває нові можливості для підвищення енергоефективності без кардинальної зміни існуючих технологічних процесів.

Поряд із питанням ефективності все більшої уваги потребує екологічний аспект функціонування теплотехнічних систем. Зростаючі вимоги до обмеження шкідливих викидів, посилення контролю за впливом промисловості на довкілля та суспільний запит на екологічно відповідальні рішення стимулюють пошук нових інженерних підходів. У цьому контексті системи, що поєднують процеси теплопередачі з очищенням і фільтрацією відпрацьованих газів, стають важливим елементом сучасної інфраструктури. Вони дозволяють не лише використовувати тепло з користю, а й мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

Водночас ускладнення технічних систем вимагає впровадження надійних і гнучких засобів керування. Сучасні автоматизовані системи управління дозволяють забезпечити стабільну роботу обладнання, контроль ключових параметрів у режимі реального часу та своєчасне реагування на відхилення від заданих режимів. Автоматизація знижує залежність роботи системи від людського фактору, підвищує рівень безпеки та створює умови для реалізації складних алгоритмів керування, які неможливо ефективно виконувати вручну.

Особливого значення в цьому контексті набуває універсальність системи. Можливість адаптації до різних умов експлуатації, інтеграції з існуючим обладнанням та масштабування відповідно до потреб конкретного підприємства є важливими критеріями при проєктуванні сучасних інженерних рішень. Універсальна система опалення повинна не лише виконувати свою основну функцію, а й бути гнучкою, надійною та здатною працювати в різних режимах без втрати ефективності.

Не менш важливим є питання безпеки експлуатації. Робота з тепловими системами завжди пов'язана з підвищеними ризиками, що вимагає впровадження багаторівневих захисних механізмів. Системи контролю аварійних станів, автоматичного відключення, самодіагностики та очищення дозволяють значно знизити ймовірність аварійних ситуацій та продовжити строк служби обладнання. У поєднанні з автоматизованим керуванням такі функції формують цілісний підхід до безпечної та надійної експлуатації системи.

У зв'язку з вищезазначеним актуальним є завдання розробки автоматизованої універсальної системи опалення, яка базується на використанні доступних теплових ресурсів, поєднує функції захисту, фільтрації та самоконтролю, а також відповідає сучасним вимогам енергоефективності та екологічності. Реалізація подібних систем сприяє зниженню енергоспоживання, оптимізації виробничих процесів та формуванню більш відповідального ставлення до використання енергетичних ресурсів.

Саме цим питанням присвячена дана дипломна робота, в якій розглядається підхід до створення автоматизованої системи опалення, орієнтованої на ефективне використання теплової енергії та підвищення техніко-економічних і екологічних показників роботи підприємства.

Об'єкт дослідження – процеси теплопостачання приміщень на основі автоматизованих систем із вторинним використанням теплової енергії.

Предмет дослідження – структурні, функціональні та алгоритмічні рішення автоматизованої системи опалення з багаторівневим захистом, системами фільтрації газів і автоматичного очищення.

Приклад сучасної системи рекуперації. Сучасна технологія, що базується на повторному використанні низькопотенційної теплової енергії, є теплові насоси. Їхня робота ґрунтується на перенесенні тепла з джерел із низькою температурою (грунт, повітря, відпрацьовані гази, промислові стоки) до системи опалення, де тепла енергія використовується повторно. Завдяки високому коефіцієнту перетворення (COP) теплові насоси дозволяють отримувати у декілька разів більше теплової енергії, ніж витрачається електричної, що робить їх одним із найефективніших методів енергозбереження.

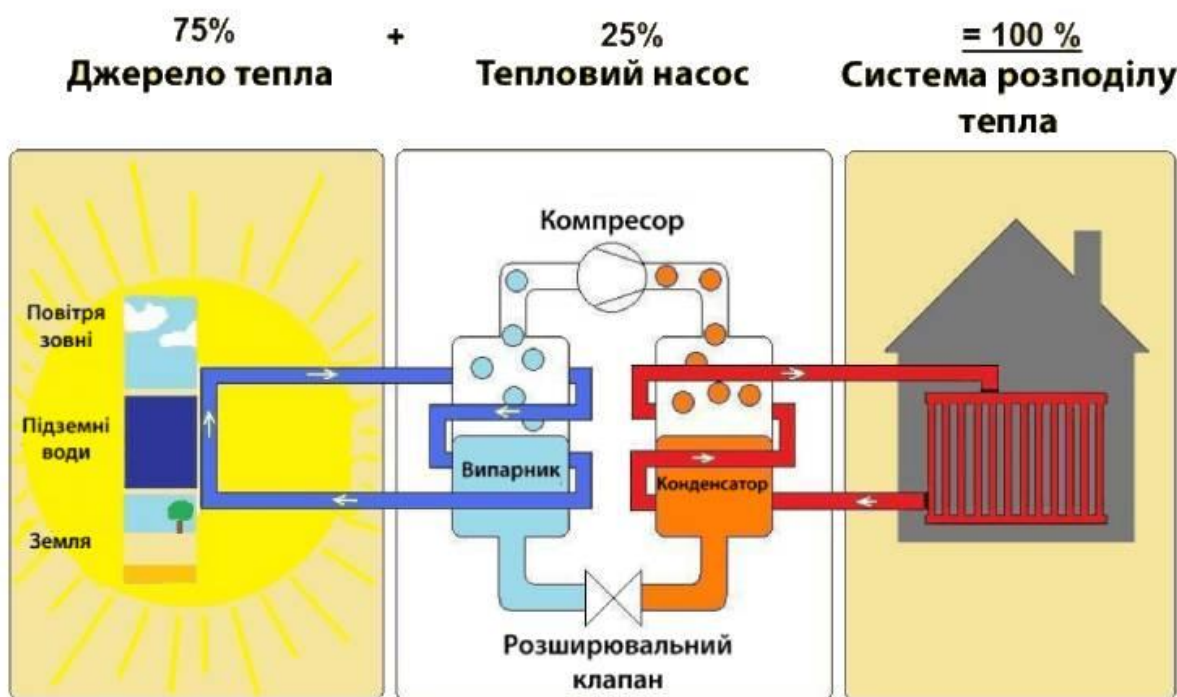


Рис. 1.1 – Узагальнений принцип роботи теплового насоса

На рисунку представлено принцип роботи теплового насоса, який використовує низькопотенційну теплову енергію довкілля (повітря, ґрунту або підземних вод). Близько 75 % тепла надходить від природного джерела, а ще 25 % забезпечується роботою компресора. У випарнику тепло поглинається та переходить у холодоагент, після чого компресор підвищує його температуру та тиск. У конденсаторі нагрітий холодоагент передає теплову енергію системі опалення будівлі. Таким чином, тепловий насос забезпечує ефективне отримання тепла з мінімальними енергетичними витратами.

1. АНАЛІЗ ТА ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС СИСТЕМИ

1.1 Призначення та область застосування системи

Розроблена система являє собою комплексне автоматизоване рішення, призначене для раціонального використання теплової енергії димових газів, що утворюються в процесі роботи печі, з подальшою передачею цієї енергії до системи опалення. Система орієнтована на інтеграцію з теплотехнічним обладнанням та забезпечує керування процесами відбору, перерозподілу та корисного використання вторинних теплових ресурсів.

Основною метою впровадження даної системи є підвищення загальної енергоефективності теплових установок шляхом зменшення втрат тепла та оптимізації режимів роботи обладнання. Завдяки автоматизованому керуванню процесами теплообміну досягається зниження питомих енергетичних витрат, підвищення стабільності температурних режимів та покращення експлуатаційних показників системи опалення в цілому.

Крім цього, система спрямована на оптимізацію процесів очищення та відведення димових газів в атмосферу. Реалізація контрольованих режимів роботи дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, забезпечити відповідність вимогам екологічної безпеки та підвищити надійність роботи газовідвідних трактів.

Область застосування розробленої системи охоплює промислові та виробничі об'єкти, на яких використовуються печі або інше теплогенерувальне обладнання з утворенням значної кількості димових газів. Система може бути застосована як у нових проєктах автоматизації, так і при модернізації існуючих теплотехнічних комплексів з метою підвищення їх енергоефективності, екологічності та рівня автоматизації.

Основні завдання системи. Розроблена система спрямована на комплексне вирішення завдань, пов'язаних з підвищенням ефективності використання теплової енергії та автоматизацією процесів теплопередачі. Одним із ключових завдань є утилізація теплової енергії димових газів, які утворюються під час роботи печі та містять значний запас тепла. Завдяки організованому відбору цієї енергії та її передачі до контуру опалення забезпечується зменшення навантаження на допоміжне теплогенерувальне обладнання, що безпосередньо сприяє зниженню загального енергоспоживання.

Важливим завданням системи є стабілізація температурного режиму в обслуговуваних приміщеннях. Автоматизоване регулювання потоків теплоносія у поєднанні з керуванням газовими трактами дозволяє підтримувати задані температурні параметри незалежно від змін режимів роботи печі. Це забезпечує створення комфортних умов у виробничих та адміністративних приміщеннях, а також підвищує передбачуваність і керованість теплових процесів.

Окрему увагу в системі приділено очищенню димових газів перед їх відведенням в атмосферу. Реалізація багатоступневих процесів фільтрації дозволяє зменшити вміст твердих частинок та шкідливих домішок, що сприяє зниженню негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечує відповідність діючим екологічним нормативам і вимогам промислової безпеки.

Автоматизація технологічних процесів є ще одним ключовим завданням розробленої системи. Координація роботи виконавчих механізмів, системи теплообміну та допоміжних вузлів здійснюється централізовано, що дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, підвищити надійність функціонування обладнання та забезпечити безпечні умови експлуатації в різних режимах роботи.

Крім того, система передбачає реалізацію режимів самоочищення елементів газовідвідного та фільтраційного обладнання. Використання таких режимів дозволяє підтримувати стабільні експлуатаційні характеристики системи, зменшити потребу в ручному технічному обслуговуванні та знизити ймовірність виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із забрудненням димарів і фільтраційних вузлів.

Обґрунтування актуальності. Сучасні промислові та виробничі об'єкти характеризуються значним рівнем енергоємності технологічних процесів, а також утворенням великих обсягів димових і газових викидів. У таких умовах питання раціонального використання теплової енергії та зниження негативного впливу на навколишнє середовище набувають особливої актуальності. Значна частина тепла, що утворюється під час роботи печей та іншого теплотехнічного обладнання, традиційно втрачається разом із димовими газами, що призводить до зростання енергетичних витрат і підвищеного рівня забруднення атмосфери.

Застосування автоматизованих систем, спрямованих на утилізацію вторинних теплових ресурсів, дозволяє істотно підвищити загальну енергоефективність підприємств. Поєднання процесів відбору теплової енергії з очищенням газових потоків створює передумови для одночасного вирішення економічних та екологічних завдань. Це особливо важливо в умовах зростання вартості енергоресурсів та посилення вимог до екологічної безпеки промислового виробництва.

Актуальність розробки також зумовлена необхідністю підвищення надійності та безпечності експлуатації теплотехнічного обладнання. Використання автоматизованого керування технологічними процесами дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, забезпечити стабільність режимів роботи та своєчасне реагування на відхилення від заданих параметрів. Це сприяє зниженню ймовірності аварійних ситуацій та підвищенню загального рівня промислової безпеки.

Крім того, впровадження комплексних систем автоматизації дає змогу оптимізувати витрати, пов'язані з технічним обслуговуванням і експлуатацією обладнання. Автоматичні режими керування та самоочищення зменшують потребу у частому втручанні обслуговчого персоналу, що позитивно впливає на економічні показники підприємства та підвищує ефективність його функціонування в цілому.

Область застосування. Розроблена система орієнтована на використання на об'єктах, де в процесі виробничої діяльності застосовуються теплогенеруючі печі або інші установки, робота яких супроводжується утворенням димових газів. У таких умовах система дозволяє ефективно використовувати наявні вторинні теплові ресурси для потреб опалення, що сприяє зменшенню витрат на споживання енергії та підвищенню загальної економічної ефективності підприємства.

Система доцільна для впровадження на підприємствах, де існує потреба в автоматизованому керуванні процесами очищення димових газів та контролі режимів їх відведення. Її застосування особливо актуальне в умовах підвищеного запилення та забруднення, оскільки реалізовані режими керування та очищення дозволяють підтримувати стабільні експлуатаційні характеристики обладнання і знижувати ризики, пов'язані з накопиченням забруднень у газовідвідних трактах.

Універсальність та модульна структура системи забезпечують можливість її адаптації до різних типів підприємств і конфігурацій теплотехнічних установок. Завдяки цьому система може бути інтегрована як у нові об'єкти, так і в існуючі виробничі комплекси без суттєвих змін їх базової структури.

Залежно від умов експлуатації та вимог до теплопостачання, система може функціонувати як основне джерело теплової енергії, використовуючи тепло димових газів, або працювати у комбінованому режимі разом з автономним котлом. У такому випадку резервне джерело тепла підключається лише для компенсації теплових навантажень у пікові періоди або в разі недостатності вторинних теплових ресурсів, що підвищує надійність та гнучкість системи в цілому.

Переваги системи. Розроблена система характеризується високим рівнем автоматизації керування та контролю технологічних процесів, що дозволяє забезпечити стабільну і безпечну експлуатацію обладнання. Використання теплової енергії димових газів для потреб опалення сприяє підвищенню енергоефективності системи та зменшенню загальних витрат на теплопостачання.

Наявність багаторівневої системи очищення та режимів самоочищення забезпечує зниження негативного впливу на навколишнє середовище та підтримання стабільних експлуатаційних характеристик газовідвідних трактів. Можливість комбінованої роботи з автономним котлом підвищує гнучкість системи та її надійність у різних режимах навантаження.

Додатковою перевагою є сумісність системи з існуючим теплотехнічним та технологічним обладнанням, що дозволяє використовувати її як під час проєктування нових об'єктів, так і при модернізації діючих виробничих комплексів без суттєвих конструктивних змін.

Таким чином, розроблена система є комплексним інженерним рішенням, яке поєднує функції теплопередачі, очищення газів та автоматизованого керування, забезпечуючи економічну й екологічну ефективність та можливість застосування в широкому спектрі промислових і виробничих умов.

1.2 Загальна архітектура системи

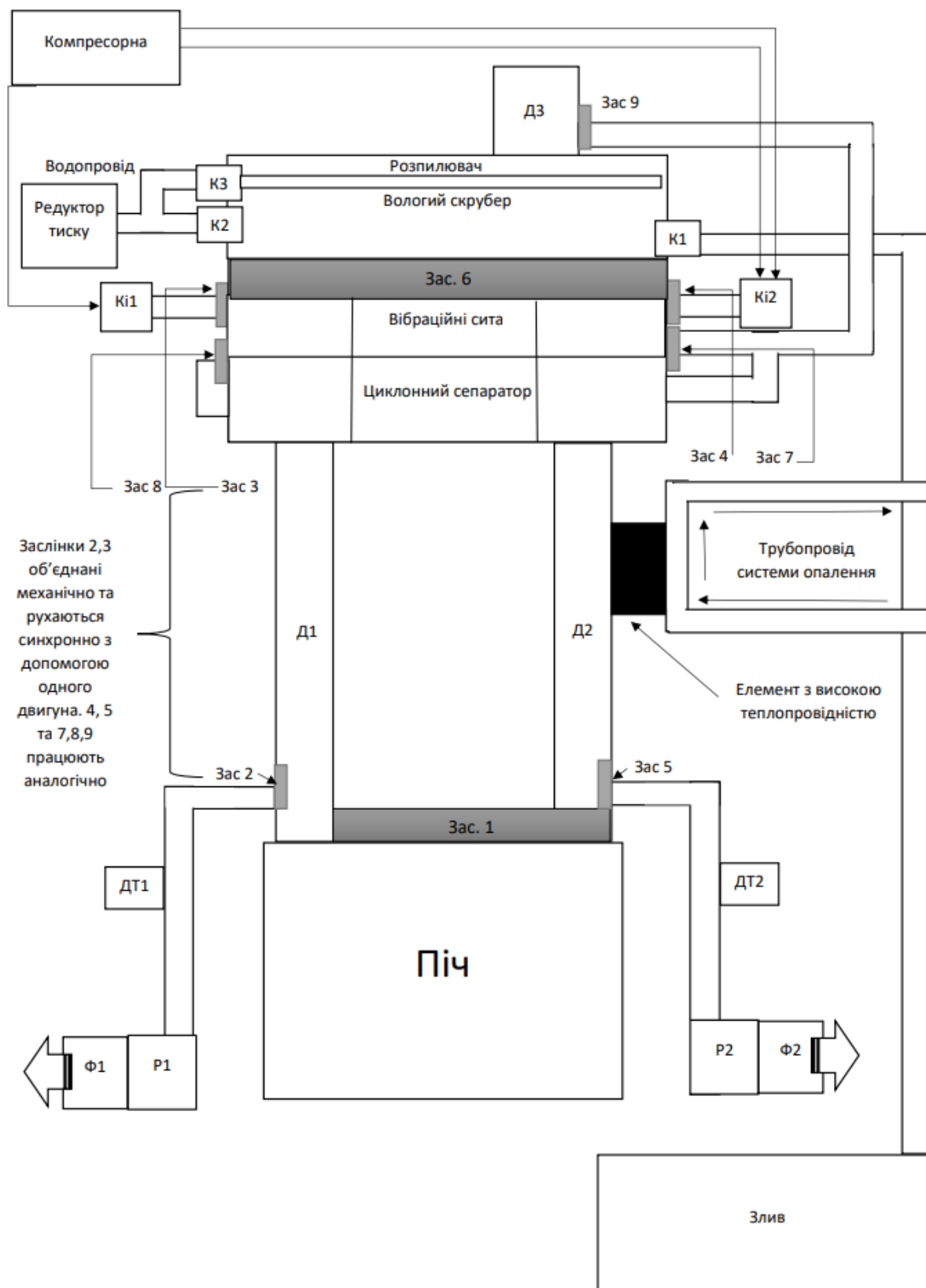


Рис. 1.2 Загальна структурна схема будови системи димара

Елементи Рис. 1.2

Д1, Д2, Д3 відгалудження димара

Зас. 1 – 9 рухомі заслінки

Дт1 та Дт2 датчики тиску

Кі 1 та Кі2 імпульсні клапани

К1, К2, К3 водопровідні клапани

Р 1 та Р 2 резервуари для відходів (кармани)

Ф 1 та Ф 2 Фільтри повітряні

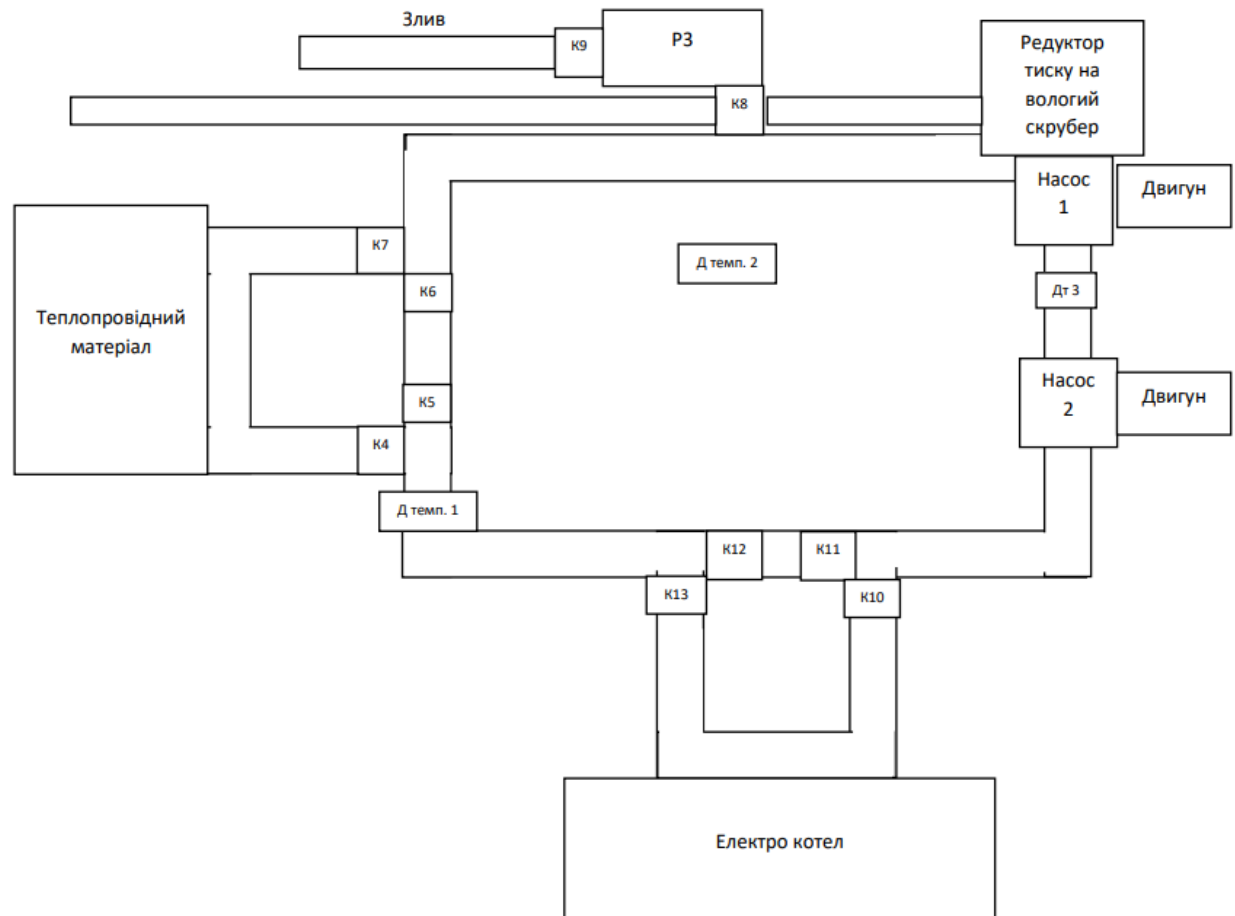


Рис. 1.3 Загальна структурна схема будови системи циркуляції

Елементи Рис. 1.3

К4 – К13 водопровідні клапани

Р 3 резервуар для відведення тиску

Д темп.1 аналоговий датчик температури води в контурі

Д темп.2 аналоговий датчик температури приміщення

Розроблена автоматизована система є комплексним теплотехнічним керованим механізмом, призначеним для утилізації теплової енергії димових газів, забезпечення стабільного теплового режиму приміщень, очищення газів та автоматизації процесів керування. Архітектура системи побудована за модульним принципом, що дозволяє чітко розмежувати функціональні області, забезпечити їх відносну незалежність у роботі, а також інтеграцію в єдиний керований комплекс.

1.3. Основні функціональні підсистеми

Розроблена система включає три основні функціональні підсистеми, які взаємодіють між собою під централізованим керуванням програмованого логічного контролера. Така структура забезпечує узгоджену роботу всіх елементів, можливість автоматичного перемикавання режимів та підвищення загальної надійності системи.

1. Газоходи та димарі з керованими заслінками

Підсистема газоходів і димарів призначена для керування напрямком потоків димових газів залежно від поточного режиму роботи системи. У її складі передбачено два димарі, між якими встановлена керована заслінка, що забезпечує перемикавання активного газовідвідного каналу. Конструкція системи передбачає роботу лише одного димаря в кожен момент часу, що дозволяє уникнути неконтрольованого розподілу газових потоків.

Контроль положення заслінки здійснюється за допомогою датчиків зворотного зв'язку, сигнали з яких використовуються для реалізації логіки безпечного керування. Один із димарів інтегрований з теплопровідним елементом, через який тепла енергія димових газів передається до циркуляційного контуру опалення. Застосування програмних блокувань забезпечує захист обладнання та запобігає виникненню аварійних режимів. У результаті досягається контрольований напрямок руху газів, оптимізація використання тепла та стабільність роботи системи.

2. Система фільтрації та очищення димових газів

Підсистема очищення димових газів забезпечує поетапне видалення твердих частинок і шкідливих домішок перед їх відведенням в атмосферу. Процес очищення реалізується послідовно, що дозволяє зменшити навантаження на окремі елементи та підвищити загальну ефективність фільтрації. На першому етапі здійснюється відділення крупних частинок, після чого газовий потік додатково очищується від дрібнодисперсних домішок. Завершальним етапом є вологе очищення, яке забезпечує зниження концентрації пилу за рахунок взаємодії газів з водяною завісою.

Підсистема підтримує як постійний режим очищення, так і автоматичні режими самоочищення, що включають промивку елементів та відведення забрудненої рідини. Це дозволяє зберігати стабільні експлуатаційні характеристики обладнання, зменшити потребу в ручному обслуговуванні та підвищити екологічну ефективність системи.

3. Циркуляційна система теплопередачі та гідравліки

Циркуляційна система призначена для передавання та розподілу теплової енергії від димового контуру та допоміжного котла до системи опалення приміщень. Її робота базується на безперервному русі теплоносія, підтриманні необхідного тиску та автоматичному керуванні потоками в різних режимах експлуатації.

Система передбачає можливість відбору тепла безпосередньо від димових газів через теплопровідний контур, а також використання допоміжного котла як резервного джерела тепла. Для забезпечення безпечної роботи реалізовано можливість перенаправлення потоків теплоносія у разі перевищення допустимих температурних параметрів. Керування клапанами та насосним обладнанням здійснюється програмованим логічним контролером, що дозволяє автоматично перемикає режими роботи залежно від поточного теплового навантаження та стану системи.

Режими роботи системи. Розроблена система функціонує у кількох режимах, які забезпечують ефективну, безпечну та безперервну експлуатацію: нормальний обігрів, скидання надлишкової температури, автоматичне самоочищення димарів та скрубера, а також роботу з допоміжним котлом у резервному режимі.

Керування режимами здійснюється програмованим логічним контролером, який аналізує дані від датчиків температури, тиску та положення механізмів і формує відповідні команди для виконавчих пристроїв.

1. Нормальний режим обігріву

У нормальному режимі система забезпечує безперервний нагрів теплоносія за рахунок енергії димових газів, що надходять із димаря з теплопровідним матеріалом. Контролер підтримує задані температурні параметри в приміщеннях, регулюючи подачу теплоносія та координуючи роботу циркуляційної системи.

Переваги цього режиму полягають у максимальному використанні енергії димових газів, економії резервного котла та підтримці стабільного і комфортного температурного режиму в приміщеннях.

2. Режим скидання надлишкової температури

Цей режим активується при перевищенні заданих температурних значень і призначений для захисту системи та опалювальних контурів від перегріву. У режимі скидання надлишкової теплової енергії контролер перенаправляє потоки теплоносія таким чином, щоб уникнути надмірного нагріву теплопровідного контуру, при цьому циркуляція води зберігається для підтримки стабільного тиску та безпечної роботи системи.

Програмований логічний контролер відстежує стан температури та тиску, контролює виконання команд і формує сигнали аварійного стану у разі некоректної роботи. Така організація дозволяє безперервно скидати надлишкову теплову енергію, запобігати пошкодженню обладнання та підтримувати безпечні умови експлуатації.

3. Режим роботи з допоміжним котлом

Допоміжний котел використовується як резервне джерело тепла у випадках, коли температура теплоносія не досягає встановленого порогу, система не забезпечує потрібний нагрів протягом визначеного часу або основний димар тимчасово не забезпечує достатньої теплової енергії.

У цьому режимі контролер автоматично перенаправляє потоки теплоносія через котел і координує роботу циркуляційної системи для підтримки стабільного тиску та безпечної експлуатації. При відновленні нормальної роботи основного контуру система повертається у стандартний режим обігріву.

Резервний котел гарантує безперервну подачу тепла, підтримку заданої температури в опалювальних контурах та підвищує надійність роботи всього комплексу.

4. Режим самоочищення димарів

Режим самоочищення димарів призначений для видалення накопиченого пилу та продуктів згоряння, особливо у димарі з теплопровідним матеріалом, що забезпечує нагрів теплоносія. Підсистема здійснює періодичне очищення шляхом короткочасних імпульсних видувів повітря, при цьому контролер координує роботу заслінок і механізмів для забезпечення безпечного та ефективного процесу.

Під час циклу самоочищення система контролює тиск у фільтрувальних елементах і зупиняє процес у разі перевищення допустимих значень, формуючи повідомлення для оператора. Процес виконується послідовно для всіх димарів, що дозволяє підтримувати їх пропускну здатність та забезпечувати стабільну роботу системи без необхідності частого ручного обслуговування.

5. Режим самоочищення вологого скрубера

Вологий скрубер підтримує ефективність очищення газів за допомогою періодичної промивки. Підсистема автоматично виконує цикл промивки, під час якого відбувається видалення забрудненої води, промивка контактної зони та відновлення нормального режиму роботи.

Програмований логічний контролер координує послідовність операцій, синхронізує рух заслінок і керування потоками, забезпечує безпечне виконання циклу та контроль стану механізмів. Такий режим дозволяє підтримувати стабільну ефективність очищення газів, запобігати накопиченню забруднень і зменшувати знос обладнання без необхідності частого ручного обслуговування.

Аварійні режими та захист системи. Для забезпечення безпечної експлуатації система передбачає кілька аварійних режимів, спрямованих на захист обладнання та запобігання небезпечним ситуаціям. Під час перевищення допустимих значень тиску або температури активуються механізми скидання надлишкової енергії, що стабілізують параметри контурів.

Програмований логічний контролер відстежує сигнали від датчиків, блокує роботу приводів і виконавчих механізмів у разі некоректних сигналів або аварійних умов, формує повідомлення для оператора та активує відповідні захисні дії. Така організація аварійних режимів підвищує надійність і безпечність системи, забезпечує збереження обладнання та безперервність її роботи.

1.4 Вимоги до автоматизованої системи керування

Автоматизована система керування (АСУ) печі та циркуляційного контуру опалення повинна забезпечувати надійну, безпечну та ефективну роботу всіх функціональних підсистем. Основні вимоги до системи включають:

Надійність та безвідмовність. АСУ повинна забезпечувати безперервний контроль роботи печі, димарів, циркуляційних насосів та клапанів. Всі критичні параметри, такі як температура теплоносія, тиск у контурах і положення заслінок, постійно контролюються. Система повинна мати алгоритми виявлення відмов елементів і автоматичного блокування небезпечних режимів.

Точність контролю температури та тиску. Система керує температурою теплоносія та приміщень, підтримуючи її в заданих межах із високою точністю. Контроль тиску забезпечує своєчасне відключення або скид при перевищенні допустимих значень, що запобігає аварійним ситуаціям та пошкодженню обладнання.

Керування циркуляцією теплоносія. СУ автоматично регулює роботу циркуляційних насосів та обхідних ліній для забезпечення оптимального руху теплоносія, перемикаючи контури залежно від режиму роботи: нормальний обігрів, скидання надлишкової температури або робота з резервним котлом.

Керування заслінками димарів та печі. Система контролює положення заслінок, що направляють потоки газів та виконують функції самоочищення, підтверджуючи їх стан за допомогою датчиків. Це дозволяє запобігати некоректним командам та аварійним ситуаціям.

Автоматичне виконання режимів самоочищення. АСУ повинна забезпечувати автоматичний запуск режимів самоочищення димарів та вологого скрубера відповідно до заданого розкладу та пріоритетів. Система контролює стан механізмів і параметри тиску, при необхідності перериває інші процеси для забезпечення безпечного і ефективного очищення.

Сигналізація та повідомлення станів. Система формує повідомлення про поточний стан усіх режимів роботи: нормальний режим, включення резервного котла, перевищення температури чи тиску, активність режимів самоочищення. Повідомлення передаються на панель оператора, при критичних значеннях параметрів система здійснює аварійне відключення.

Вимоги до інтеграції з апаратурою та елементами системи. Всі датчики, приводи, клапани та насоси повинні бути сумісні з контролером і системами керування, забезпечувати надійну роботу і довговічність без частого технічного обслуговування.

Виконання цих вимог гарантує стабільну роботу печі, димарів та циркуляційної системи при різних режимах, своєчасне реагування на аварійні ситуації, підтримку оптимальних параметрів температури та тиску, а також високий рівень безпеки та ефективності експлуатації всього комплексу.

2. КОНСТРУКТИВНА СХЕМА ГАЗОХОДІВ І ДИМАРІВ

Система газоходів і димарів є ключовим елементом автоматизованої системи опалення, оскільки вона відповідає за відведення продуктів згоряння та передачу теплової енергії до циркуляційного контуру опалення. Конструктивна схема розроблена таким чином, щоб забезпечити ефективне видалення димових газів, мінімізацію теплових втрат та інтеграцію з системою фільтрації і автоматичного керування.

2.1. Загальна структура газоходів

Система включає два паралельні димарі, між якими встановлена керована заслінка для перемикання напрямку потоку газів. Один з димарів містить теплопровідний матеріал для нагріву теплоносія, а другий використовується як допоміжний канал під час очищення або скидання надлишкової температури. Газоходи інтегровані з системою фільтрації, яка включає циклонний сепаратор, вібраційні сита та вологий скруббер.

Роль ПЛС у системі. Програмований логічний контролер (ПЛС) є центральним керуючим елементом системи. Він контролює температуру теплоносія та приміщень, тиск у контурах, керує приводами заслінок і клапанів, забезпечує послідовність виконання режимів роботи (обігрів, скидання надлишкової температури, самоочищення) та формує сигнали аварійного стану і повідомлення для оператора. Централізоване керування дозволяє мінімізувати вплив людського фактора та підвищити надійність експлуатації.

Взаємодія підсистем. Потік димових газів спрямовується в активний димар, підключений до контуру теплопровідного матеріалу, що дозволяє максимально ефективно передавати тепло до системи опалення. Далі гази проходять через систему фільтрації, де відбувається поетапне видалення твердих частинок і домішок. Завдяки автоматичним режимам самоочищення фільтраційна підсистема працює без переривання теплового потоку. Циркуляційна система отримує тепло та підтримує необхідні параметри температури. У разі відхилень ПЛС автоматично активує регулюючі механізми — перенаправляє потоки через байпасні лінії або підключає допоміжний котел.

Переваги архітектури. Модульна структура системи забезпечує автономну роботу підсистем, підвищуючи стійкість до відмов і спрощуючи обслуговування. Автоматизація процесів знижує вплив людського фактора, стабілізує роботу системи при різних режимах, оптимізує теплопередачу та зменшує енергетичні втрати. Багаторівнева фільтрація і механізми самоочищення підтримують ефективність системи без частого втручання операторів. Інтеграція резервного джерела тепла дозволяє підтримувати стабільну роботу без порушення основного процесу. У підсумку, архітектура забезпечує гнучке керування, надійність, автоматизацію та економічну ефективність, що робить систему придатною для промислових і виробничих умов.

Заслінка перемикання димарів (31)

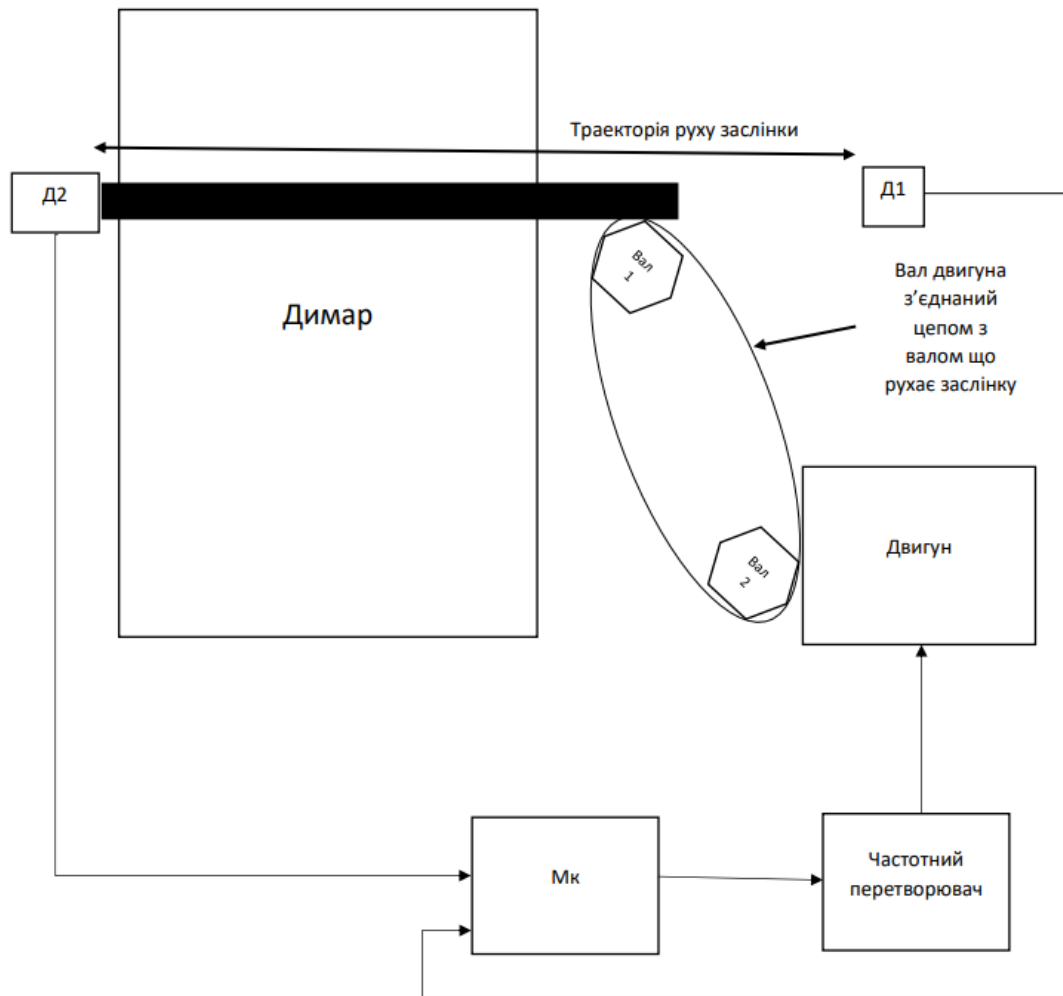


Рис. 2.1 Схема роботи заслінки на прикладі 31

Заслінка 31 встановлена між двома димарями і забезпечує кероване перемикання напрямку потоку димових газів. Вона дозволяє ефективно чергувати використання основного димаря з теплопровідним матеріалом і допоміжного димаря, запобігаючи одночасному відкриттю обох каналів. Положення заслінки контролюється системою датчиків, а керування здійснюється автоматично через привід, що забезпечує надійну і безпечну роботу всієї системи.

Функціональні особливості газоходів

Система газоходів і димарів виконує ключову роль у забезпеченні ефективної та безпечної роботи опалювального контуру. Основним завданням цієї підсистеми є передача тепла від продуктів згоряння до теплоносія, що циркулює по опалювальному контурі. Для цього використовується димар із теплопровідного матеріалу, який дозволяє максимально ефективно накопичувати та передавати теплову енергію, забезпечуючи стабільне нагрівання теплоносія.

Безпека роботи системи досягається завдяки вбудованим датчикам температури та тиску, які постійно контролюють параметри газового потоку. У разі перевищення допустимих значень ПЛС автоматично ініціює аварійні заходи, запобігаючи можливим аварійним ситуаціям. Крім того, конструкція газоходів передбачає модульність та легкість обслуговування: окремі секції можна швидко від'єднати для очищення або технічного огляду, що значно спрощує експлуатацію та продовжує ресурс системи.

Газоходи тісно взаємопов'язані з іншими підсистемами установки. Пройшовши через димар, продукти згоряння надходять до поетапної системи фільтрації, яка забезпечує видалення як великих, так і дрібнодисперсних часток, а також газоподібних домішок. Одночасно тепло, що міститься у газах, передається до теплоносія, підтримуючи ефективну роботу циркуляційного контуру та оптимізуючи загальний енергетичний баланс системи. Такий інтегрований підхід дозволяє забезпечити не лише високий ККД обігріву, але й підвищений рівень безпеки та надійності всієї установки.

2.2 Принцип роботи печі та димарної системи

Піч і димарна система становлять центральні елементи автоматизованої системи опалення, виконуючи роль основного джерела теплової енергії та забезпечуючи її ефективну передачу до циркуляційного контуру. Водночас вони гарантують безпечне видалення продуктів згоряння, зберігаючи стабільні параметри газового потоку та інтегруючись із системою фільтрації димових газів. Принцип роботи цієї підсистеми базується на організованому управлінні рухом газів, контролі температури і тиску, а також на реалізації процедур самоочищення, що дозволяє підтримувати оптимальний тепловий баланс та підвищує надійність і безпеку всієї системи опалення.

Піч і димарна система є ключовими компонентами автоматизованої системи опалення, що забезпечують генерацію та передачу теплової енергії до циркуляційного контуру. Вони виконують комплексну функцію: нагрів теплоносія, безпечне видалення продуктів згоряння та інтеграцію з системою фільтрації димових газів. Один із димарів містить теплопровідний матеріал, який накопичує тепло від продуктів згоряння і передає його до замкненого контуру, забезпечуючи рівномірне нагрівання та зменшення пульсацій температури. Управління потоком газів здійснюється через заслінку З1, яка перемикає активний димар та ізолює резервний канал для проведення самоочищення або технічного обслуговування, що гарантує безперервність процесу з мінімальними тепловими втратами. Положення заслінки контролюється індуктивними датчиками ДІ1 і ДІ2, а її переміщення здійснюється двигуном М1 через частотний перетворювач ЧПЗ 1 за командами ПЛС, яка приймає рішення на основі температури приміщення, режиму роботи печі та стану самоочищення.

Процедури самоочищення димарів організовані таким чином, щоб підтримувати постійну готовність системи. Імпульсне видування повітря здійснюється по чергово для кожного димаря, при цьому керування імпульсними клапанами, заслінками та контролем тиску забезпечує безпечне видалення пилу та попередження перевищення граничних значень. Активний димар залишається відкритим до досягнення заданої температури, тоді як резервний канал може використовуватись для перенаправлення газів під час очищення або аварійних ситуацій. Синхронізація з циркуляційним контуром і системою фільтрації гарантує, що продукти згоряння надходять на механізми очищення тільки в допустимому діапазоні температури і тиску, що підвищує безпеку та надійність установки. Таким чином, піч і димарі забезпечують ефективний нагрів теплоносія, безпечний відвід продуктів згоряння, автоматичне проведення процедур самоочищення та інтеграцію у загальну систему керування, оптимізуючи роботу всієї опалювальної установки.

2.3 Заслінка перемикавання димарів та її функції

Заслінка перемикавання димарів (31) є ключовим елементом печі та газоходів, оскільки вона визначає, через який димар відводитимуться продукти згоряння та який канал буде використовуватися для передачі тепла до циркуляційного контуру. Основна мета заслінки — забезпечення ефективного розподілу теплової енергії, безпеки системи та інтеграція з режимами самоочищення та контролю.

Конструктивно заслінка 31 має два напрямки руху: «вперед» для відкриття димаря 1 та «реверс» для відкриття димаря 2. Привід заслінки реалізовано за допомогою електродвигуна М1, керованого частотним перетворювачем ЧПЗ 1, що дозволяє регулювати швидкість руху і забезпечує плавний перехід між положеннями. Важливим елементом конструкції є механізм, який виключає одночасне відкриття обох димарів, що запобігає тепловим втратам та небажаним перепадам тиску.

Контроль положення заслінки здійснюється двома індуктивними датчиками ДІ1 і ДІ2, які фіксують стан «димар 1 відкритий» та «димар 2 відкритий». Програмований логічний контролер (ПЛС) приймає рішення про переміщення заслінки лише після підтвердження коректного положення відповідного датчика, що виключає помилки у роботі циркуляційного контуру та системи фільтрації. Таке рішення є критичним і для запуску процедур самоочищення, адже від правильного положення заслінки залежить, який канал буде піддаватися очищенню.

Функціонально заслінка виконує кілька завдань. По-перше, вона перемикає димарі для передачі тепла: активний димар пропускає гази через теплопровідний матеріал до циркуляційного контуру, а інший димар ізолюваний, що мінімізує втрати тепла та готує канал до процедур самоочищення. По-друге, заслінка забезпечує ізоляцію димаря під час імпульсного видування або промивки, підтримуючи безпеку та ефективність очищення, при цьому інший димар може залишатися активним для підтримки мінімальної циркуляції газів. По-третє, заслінка підтримує пріоритети режимів роботи: процедури самоочищення мають вищий пріоритет порівняно з набором температури або скиданням надлишкової теплової енергії, а перемикання димарів відбувається автоматично за сигналами ПЛС та датчиків.

Логіка керування заслінкою враховує поточний режим роботи (нагрів, скидання температури, самоочищення), стан теплопровідного матеріалу в димарі, температуру приміщення та сигнали від датчиків положення. Переміщення заслінки відбувається тільки після перевірки готовності обраного димаря до роботи та ізоляції іншого.

Заслінка тісно взаємодіє з циркуляційною системою, клапанами K4...K7 та системою фільтрації димових газів. Під час набору температури активний димар забезпечує проходження газів через теплопровідний матеріал, а заслінка спрямовує потік у необхідному напрямку. Під час процедур самоочищення або скидання температури заслінка ізолює димар, дозволяючи працювати імпульсним клапанам та іншим механізмам очищення, не порушуючи роботу другого каналу.

Безпека та надійність системи досягаються конструктивним та логічним запобіганням одночасного відкриття обох димарів. Контроль датчиками захищає від помилок оператора та відмов електроприводу, а ПЛС формує сигнали тривоги у разі некоректного положення заслінки, автоматично відключаючи режим нагріву або скидання температури.

2.4 Алгоритм керування заслінкою перемикавання

Алгоритм керування заслінкою перемикавання димарів (31) визначає порядок і умови її переміщення, забезпечуючи безпечну та ефективну роботу печі та циркуляційного контуру. Головна мета алгоритму полягає в тому, щоб у будь-який момент часу був активний лише один димар, а перемикавання відбувалося синхронно з іншими режимами роботи системи.

Основними принципами алгоритму є пріоритетність режимів і контроль положення заслінки. Процедури самоочищення димарів мають найвищий пріоритет і виконуються перед будь-яким набором або скиданням температури. Переміщення заслінки допускається лише після підтвердження її положення індуктивними датчиками ДІ1 та ДІ2, що гарантує правильну ізоляцію неактивного димаря та запобігає помилкам у роботі циркуляційного контуру.

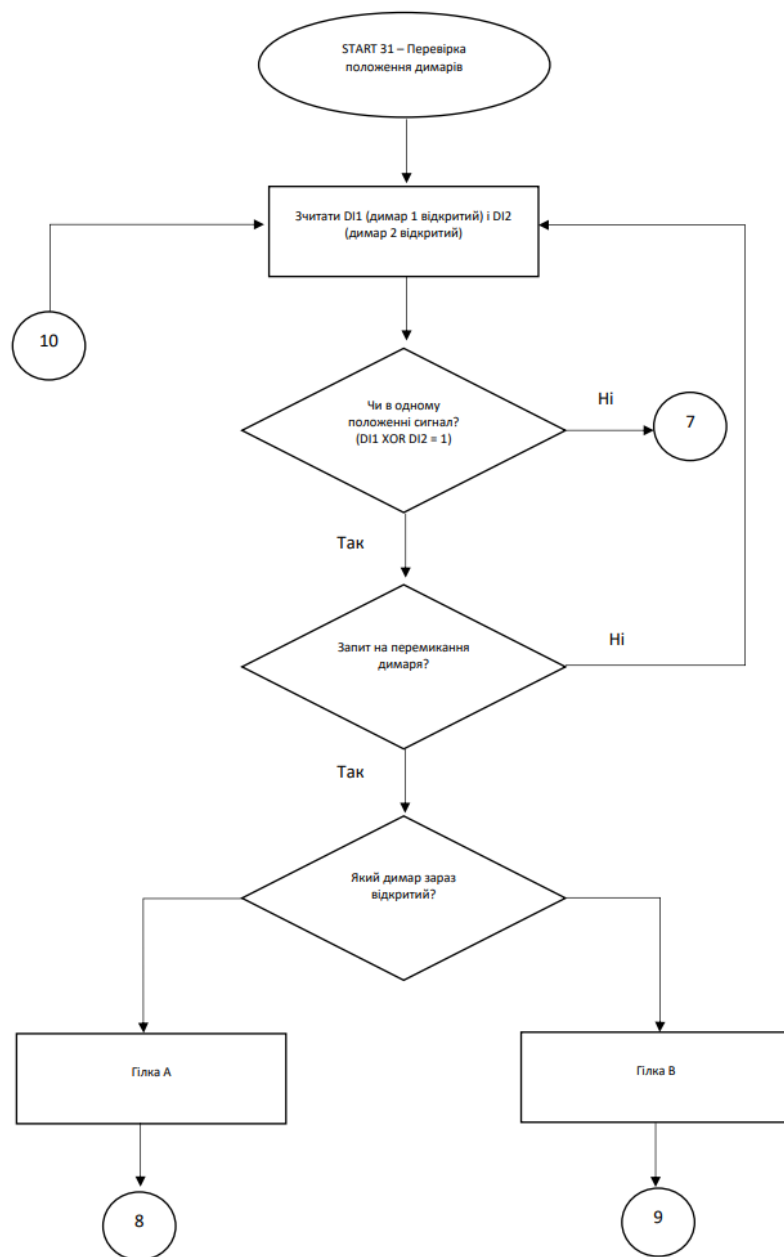


Рис. 2.3 Алгоритм заслінки на прикладі 31

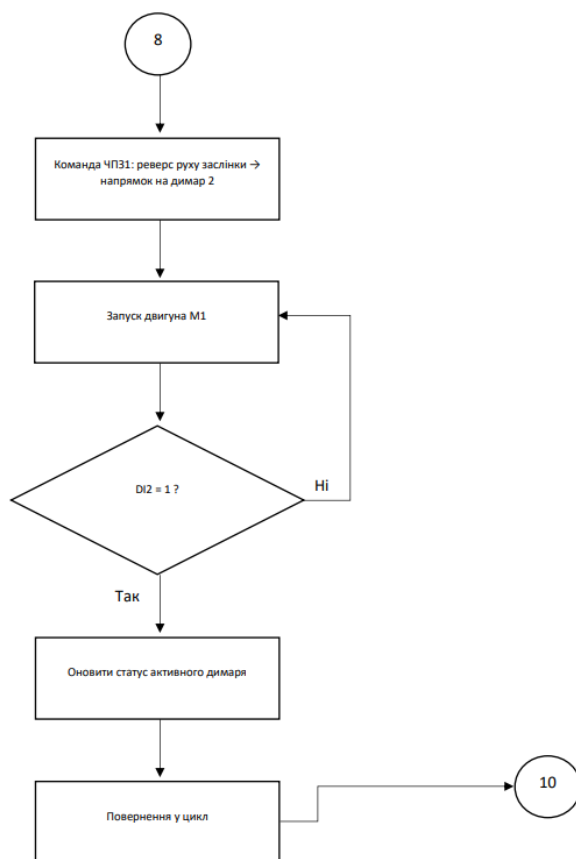


Рис. 2.4 Алгоритм відкриття димара 2

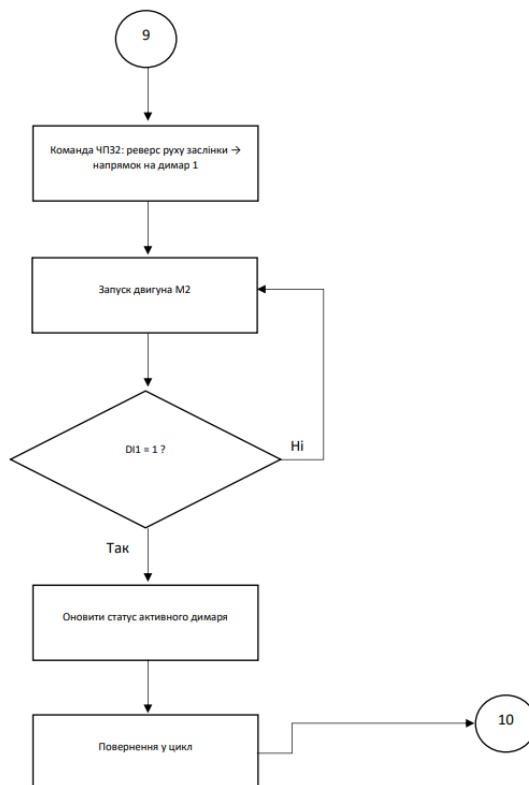


Рис. 2.5 Алгоритм відкриття димара 1

Алгоритм можна уявити як послідовність логічних перевірок. Спочатку ПЛС визначає поточний режим роботи печі: нормальний нагрів, скидання температури або самоочищення. Далі контролюється стан датчиків положення заслінки: якщо датчики не підтверджують правильне положення, перемикання блокується. Після цього обирається димар для активації — активний димар залишається у роботі до досягнення заданої температури або початку процедури самоочищення, після чого заслінка плавно переміщується на інший димар за допомогою частотного перетворювача ЧПЗ 1 та двигуна М1. По завершенні руху ПЛС перевіряє датчики і фіксує нове положення заслінки.

Для різних режимів роботи алгоритм реалізує специфічну логіку. У нормальному режимі нагріву заслінка відкриває димар з теплопровідним матеріалом, і ПЛС контролює температуру теплоносія, не дозволяючи перемикання до досягнення заданих параметрів. Під час скидання температури система ізолює димар, перенаправляючи теплоносій по обвідній лінії, що знижує температуру без перевантаження контуру. У режимі самоочищення заслінка ізолює димар, який підлягає очищенню, залишаючи інший димар активним для підтримки мінімальної циркуляції газів. ПЛС синхронізує роботу додаткових заслінок і імпульсних клапанів для видування та зливу забрудненої води, забезпечуючи безперервну роботу системи.

Контроль безпеки передбачає блокування перемикання при перевищенні критичних значень тиску або температури в димарі. ПЛС формує сигнал тривоги у разі некоректного положення заслінки, а конструктивні особливості механізму запобігають одночасному відкриттю обох димарів, що мінімізує ризик аварійних ситуацій.

Алгоритм керування заслінкою тісно інтегрований з іншими підсистемами: під час перемикання ПЛС контролює стан клапанів і насосів, синхронізує роботу з системою циркуляції теплоносія та фільтрації газів, а також з вологим скруббером і імпульсними клапанами, що дозволяє проводити самоочищення без відключення основної роботи системи.

Таким чином, алгоритм керування заслінкою З1 забезпечує надійне перемикання між активним і резервним димарями, безпечну роботу печі та циркуляційного контуру, синхронізацію з усіма режимами системи і автоматичне виконання процедур самоочищення, інтегруючи фізичні механізми з автоматикою ПЛС для стабільної та ефективної роботи системи опалення.

2.5 Контроль положення заслінок та логічні блокування

Контроль положення заслінок у системі печі та димарів є критичною функцією автоматизованого керування, оскільки від правильного визначення стану заслінки залежить безпека системи, ефективність передачі тепла та коректність виконання процедур самоочищення. Логічні блокування та інтеграція з ПЛС дозволяють запобігати небезпечним ситуаціям, таким як одночасне відкриття обох димарів або спроби перемикання під час перевищення критичних температур чи тиску.

Для визначення фактичного положення заслінок застосовуються індуктивні датчики типу Pepperl+Fuchs NJ12-18GM40-EK/UP/IN2/V1. Кожна заслінка контролюється у двох ключових точках — «відкрита» та «закрита», що забезпечує надійне підтвердження стану механізму. Сигнали від датчиків надходять на ПЛС, де вони обробляються алгоритмом керування, який визначає можливість переміщення заслінки та активність відповідного димаря.

Безпека роботи забезпечується декількома рівнями логічних блокувань. Перш за все, ПЛС блокує команду на переміщення заслінки, якщо активний димар ще не закритий, що виключає одночасне відкриття обох димарів та запобігає втратам тепла і небезпечним перепадам тиску. Крім того, перед перемиканням система перевіряє дані датчиків тиску та температури; при перевищенні допустимих значень перемикання блокується, а оператор отримує сигнал тривоги. Також передбачено блокування у випадку несправності датчиків: якщо індуктивний датчик не передає сигнал або його показники відхиляються від норми, ПЛС блокує переміщення заслінки та формує повідомлення про несправність, що дозволяє уникнути пошкодження системи.

Особливо критичним є контроль положення заслінок під час процедур самоочищення. Під час імпульсного видування карманів і промивки вологого скрубера заслінки синхронно рухаються відповідно до команд ПЛС через частотні перетворювачі та двигуни, а датчики ДІЗ–ДІ18 забезпечують блокування у разі, якщо карман або сопло не відкриті чи закриті належним чином. Це гарантує безпечне відведення забрудненої води та газів без впливу на роботу активного димаря.

Контроль положення заслінок тісно інтегрований з іншими підсистемами, зокрема з циркуляційною системою та клапанами К4–К7, що дозволяє координувати потоки теплоносія і газів. ПЛС одночасно перевіряє готовність насосів, стан клапанів та датчиків перед перемиканням заслінки, забезпечуючи безпечну і ефективну роботу всієї системи. Для підвищення надійності передбачене дублювання датчиків у критичних точках та використання логічних блокувань, що дозволяє уникнути аварійних ситуацій навіть при одноразовій відмові окремого датчика або виконавчого механізму. Усі порушення і події фіксуються ПЛС, що дає змогу своєчасно реагувати на потенційні проблеми та планувати технічне обслуговування.

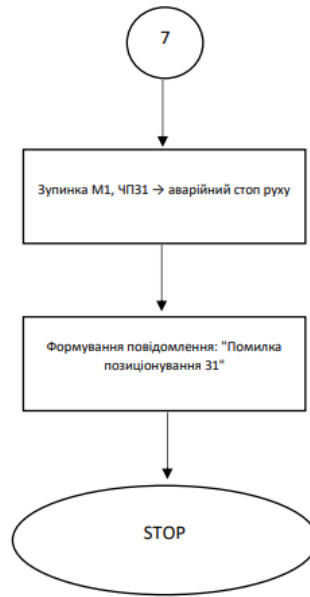


Рис. 2.6 Аварійна гілка

Таким чином, контроль положення заслінок у поєднанні з логічними блокуваннями забезпечує безпеку роботи, надійність системи, ефективну координацію з циркуляційним контуром та процедурами самоочищення, а також стабільну та високоефективну роботу печі та димарної системи.

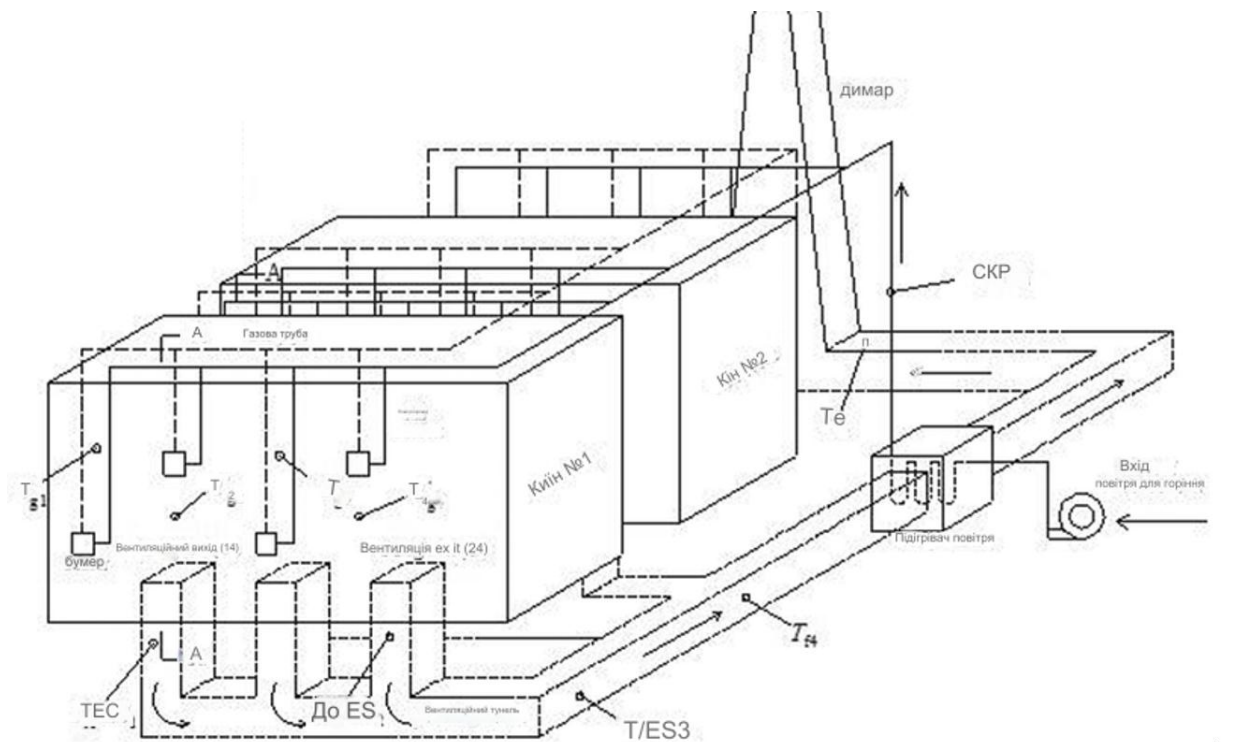


Рис. 2.7 – Схема печі, яка слугує прикладом об'єкту на який можна інсталювати розроблену систему

3. ЗАГАЛЬНА СХЕМА ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ

Система очищення димових газів є невід'ємною частиною автоматизованої системи опалення, оскільки забезпечує ефективне видалення твердих часток, пилу та шкідливих домішок із продуктів згоряння. Це не лише зменшує вплив системи на навколишнє середовище, але й підвищує ефективність теплопередачі, адже чисті гази проходять через теплообмінник без осадження забруднень. У загальній схемі очищення димові гази послідовно проходять кілька ступенів фільтрації, причому кожен ступінь виконує специфічну функцію, спрямовану на досягнення високого рівня очищення та підтримання стабільної роботи всієї системи.

3.1. Основні елементи схеми

Першим ступенем є циклонний сепаратор, який забезпечує первинне видалення крупнодисперсних твердих часток. Принцип його роботи ґрунтується на створенні відцентрових сил, що відкидають частки до стінок сепаратора, звідки вони збираються у спеціальний резервуар для подальшого виведення. Таким чином, циклонний сепаратор захищає наступні елементи фільтрації від швидкого забруднення.

Наступним етапом очищення є вібраційні сита, що видаляють дрібнодисперсні частки, які не були утримані у циклоні. Інтенсивність їх роботи регулюється через частотний перетворювач ЧПВ1 та двигун М5, що дозволяє ПЛС керувати вібрацією відповідно до режиму роботи, наприклад, під час набору температури або процедур самоочищення.

Остаточне очищення газів здійснює вологий скруббер, де димові гази контактують із водяним розпилом, що дозволяє видаляти залишкові тверді частки та газоподібні домішки. У нормальному режимі роботи клапан розпилення води К3 відкритий, забезпечуючи безперервну очистку. Під час процедур самоочищення вологий скруббер промивається та здійснює злив забрудненої води через клапани К1 і К2, що підвищує ефективність очищення і запобігає накопиченню осаду.

Димові гази проходять очищення послідовно: спершу через циклонний сепаратор, потім через вібраційні сита та, нарешті, через вологий скруббер. Після завершення цього процесу гази виводяться в атмосферу або направляються на додаткові елементи системи залежно від технологічної схеми.

Контроль та автоматизація процесу очищення здійснюються ПЛС, який керує станом усіх ступенів фільтрації, включаючи вмикання і вимикання вібраційних сит, клапанів розпилення та зливу. Датчики тиску і температури на ключових ділянках дозволяють своєчасно виявляти перевищення допустимих значень та уникати можливих відмов. Самоочищення циклонного сепаратора і вологого скруббера проводиться за таймерами ПЛС, що забезпечує безперервну ефективність фільтрації та мінімізує потребу ручного втручання.

Система очищення інтегрована з димарною та циркуляційною підсистемами. Під час самоочищення заслінки димарів ізолюють активний канал, забезпечуючи безпечно проведення промивки і імпульсного видування, а ПЛС координує роботу циркуляційного контуру та клапанів, підтримуючи оптимальну роботу всієї установки.

Таким чином, багаторівнева система очищення димових газів забезпечує комплексний контроль процесу, підвищує ефективність теплопередачі, гарантує безпеку роботи системи через моніторинг тиску і температури, автоматизує операції фільтрації та самоочищення і інтегрується з усіма підсистемами опалювальної установки, забезпечуючи стабільну та надійну роботу.

3.2 Циклонний сепаратор

Циклонний сепаратор є першим ступенем очищення димових газів після виходу з димарів і виконує ключову функцію первинного видалення крупнодисперсних часток. Його застосування знижує навантаження на наступні елементи фільтрації, такі як вібраційні сита та вологий скруббер, що підвищує ефективність і надійність усієї системи очищення. Первинне очищення газів забезпечує видалення великих і середніх часток, що утворюються під час згоряння палива, захищає наступні ступені фільтрації від швидкого забруднення та сприяє більш ефективній передачі тепла через тепловий матеріал у димарі.

Принцип роботи циклонного сепаратора базується на тангенціальному введенні газових потоків у циліндричну камеру, що створює вихровий рух. Під дією відцентрових сил тверді частки відкидаються до стінок сепаратора, після чого під дією гравітації опускаються в збірний резервуар, а очищені гази піднімаються в центральну частину і спрямовуються до наступного ступеня фільтрації. Конструкція сепаратора передбачає безперервну роботу та самовиведення накопичених часток без необхідності частих зупинок.

Конструктивно пристрій включає циліндричну камеру з тангенціальним входом, конічне дно для збору твердих часток і вихідний канал для очищених газів, який підключений до системи вібраційних сит. Корпус виготовлений із матеріалу, що витримує високі температури та абразивне навантаження від пилу та часток згоряння.

Автоматизація процесу контролю сепаратора реалізована через датчики тиску на вході та виході, які дозволяють ПЛС оцінювати ефективність відділення часток. При перевищенні допустимих значень система формує сигнал тривоги або команду на проміжне очищення. Циклонний сепаратор інтегрований з алгоритмом самоочищення: під час імпульсного видування або промивки вологого скрубера перевіряється його стан, і при необхідності активується додаткове очищення.

Сепаратор взаємодіє з іншими елементами системи таким чином: він отримує гази безпосередньо від димарів, керованих заслінкою 31, відділені частки накопичуються у резервуарі для подальшого виведення або використання, а очищені гази переходять на наступний ступінь фільтрації — вібраційні сита. Таким чином, циклонний сепаратор виконує критично важливу роль у багатоступеневій системі очищення: він забезпечує первинне відділення крупнодисперсних часток, знижує навантаження на наступні ступені фільтрації, підвищує ефективність теплопередачі і загальну надійність системи, а також інтегрується з ПЛС для контролю стану та виконання процедур автоматичного очищення.

У результаті циклонний сепаратор є фундаментальним елементом екологічної та технологічної безпеки системи опалення, готуючи гази для подальшої фільтрації та підтримуючи стабільну роботу всіх підсистем.

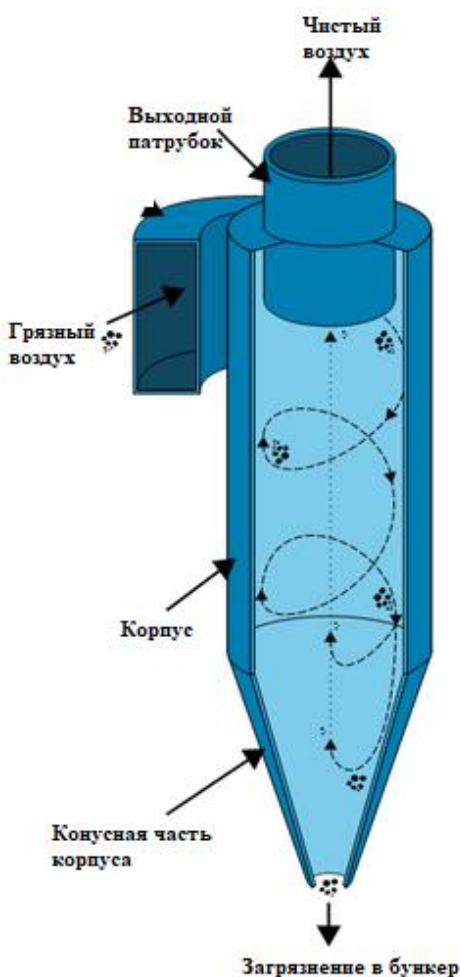


Рис. 3.1 – Схема роботи циклонного сепаратора

3.3 Вібраційні сита та система їх керування

Вібраційні сита є другим ступенем очищення димових газів і виконують функцію видалення дрібнодисперсних часток, що не були утримані циклонним сепаратором. Цей етап фільтрації критично важливий для підтримки ефективності вологого скрубера та забезпечення екологічної безпеки системи. Ефективне керування ситами здійснюється через інтеграцію з ПЛС і використання частотного приводу, який регулює інтенсивність коливань механізму відповідно до режиму роботи системи.

Конструктивно вібраційні сита оснащені коливальним валом та електродвигуном М5, а частотний перетворювач ЧПВ1 дозволяє регулювати швидкість коливань, що забезпечує оптимальне відділення дрібнодисперсних часток. Відфільтровані частки автоматично зливаються у збірний контейнер або відвідний канал, а очищені гази надходять до вологого скрубера, забезпечуючи рівномірний потік газів для наступного ступеня очищення.

Принцип роботи сит полягає у створенні коливальних рухів, що забезпечують осипання та відділення дрібнодисперсних часток від газового потоку. Інтенсивність коливань регулюється ПЛС через частотний перетворювач ЧПВ1, що дозволяє оптимізувати процес залежно від поточного навантаження та активного режиму печі. Система керування також передбачає включення і вимикання сит у різних режимах: під час нормальної роботи вони забезпечують постійне видалення пилу, а під час процедур самоочищення можуть тимчасово відключатися для синхронізації з імпульсним видуванням та промивкою вологого скрубера.

Вібраційні сита інтегровані з іншими елементами системи: вони отримують гази безпосередньо від циклонного сепаратора і передають їх до вологого скрубера. Під час перемикання димарів через заслінку З1 ПЛС коригує роботу сит, забезпечуючи безпечну та ефективну фільтрацію газів незалежно від активного димаря. Контроль безпеки включає блокування роботи при перевищенні критичного перепаду тиску на вході та виході, а також формування сигналів тривоги у разі несправності двигуна або частотного перетворювача. Регулярний моніторинг стану механізму та відфільтрованих часток забезпечує довготривалу і безвідмовну роботу блоку очищення.

Таким чином, вібраційні сита є ключовим елементом багатоступеневої системи очищення димових газів. Вони забезпечують ефективне видалення дрібнодисперсних часток, підвищують продуктивність вологого скрубера, інтегруються з ПЛС для автоматичного регулювання режимів роботи і гарантують безпеку та надійність системи очищення.



Рис. 3.2 – Приклад зображення вібросита

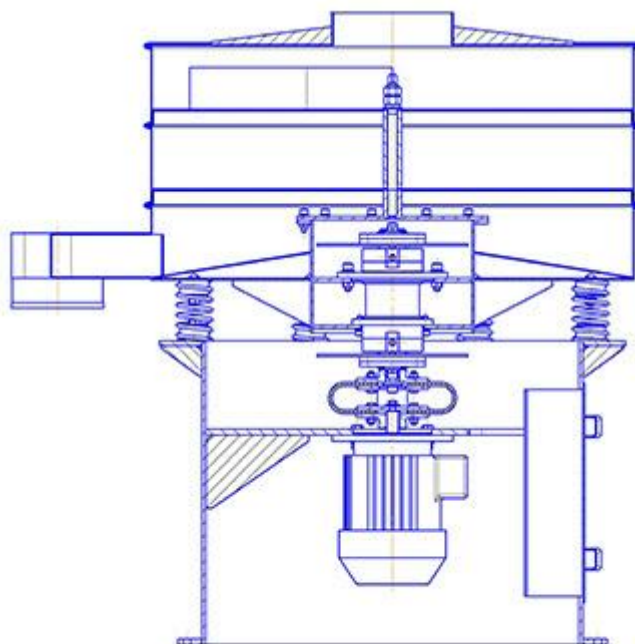


Рис. 3.3 – Схема вібросита

3.4 Вологий скруббер димових газів

Вологий скруббер є заключним ступенем очищення димових газів у системі опалення і відповідає за видалення дрібнодисперсних часток та газоподібних забруднювачів, що залишилися після циклонного сепаратора та вібраційних сит. Його застосування критично важливе для забезпечення екологічної безпеки та стабільної роботи установки, оскільки він гарантує мінімальний вплив шкідливих домішок на навколишнє середовище і підтримує рівномірний рух очищених газів через димар, запобігаючи накопиченню осаду на теплообмінних поверхнях.

Конструктивно скруббер оснащений камерою контактного зволоження, де газу стикаються з водяним розпилом, що забезпечує агломерацію дрібних часток і їх ефективне відведення. Клапан розпилення води К3 регулює безперервну подачу води під час нормальної роботи, підтримуючи ефективність очищення, а система клапанів К1 і К2 забезпечує злив забрудненої води та промивку внутрішніх поверхонь камери під час процедур самоочищення. Механічна конструкція скруббера дозволяє працювати при високих температурах димових газів та витримувати абразивне навантаження, що виникає в процесі опалення.

Під час нормальної роботи димові газу надходять у камеру скруббера після вібраційних сит, де вода захоплює дрібнодисперсні частки, які агломеруються і відводяться разом із забрудненою водою у збірний резервуар. Очищені газу піднімаються у верхню частину камери і спрямовуються у димар. Регулювання подачі води та контроль процесу здійснюється ПЛС, що забезпечує ефективність очищення в залежності від активного режиму роботи печі.

Процедура самоочищення відбувається за таймером ПЛС з періодичністю 2 години 5 хвилин. Під час циклу клапан К3 закривається, заслінка 6 перекриває потік газів у камеру, а заслінки 7–9 відкриваються синхронно через привід ЧПЗ 4 і двигун М4, забезпечуючи видалення забрудненої води через клапан К1 та промивку внутрішніх поверхонь через клапан К2. Після завершення промивки система повертається у нормальний режим, і подача води відновлюється через К3. Весь процес автоматизований, а датчики положення ДП10–ДП18 контролюють правильність відкриття та закриття заслінок, запобігаючи помилковій роботі механізму.

Вологий скруббер інтегрований із системою димарів: під час самоочищення активний димар ізолюється заслінкою З1, що дозволяє проводити промивку без зупинки циркуляції газів через інший димар. Одночасно здійснюється координація з вібраційними ситами, що забезпечує безперервний потік очищених газів і мінімізує навантаження на систему. ПЛС контролює тиск і рівень води, виявляє можливі засмічення та координує синхронну роботу усіх підсистем для безпечного і надійного функціонування.

Таким чином, вологий скруббер є ключовим елементом системи очищення димових газів: він забезпечує остаточне видалення дрібнодисперсних часток та шкідливих домішок, підвищує екологічну безпеку установки, інтегрується з ПЛС для автоматичного керування нормальним режимом і процедурами самоочищення та синхронізується з іншими підсистемами, що гарантує безперервну та надійну роботу всього блоку очищення.

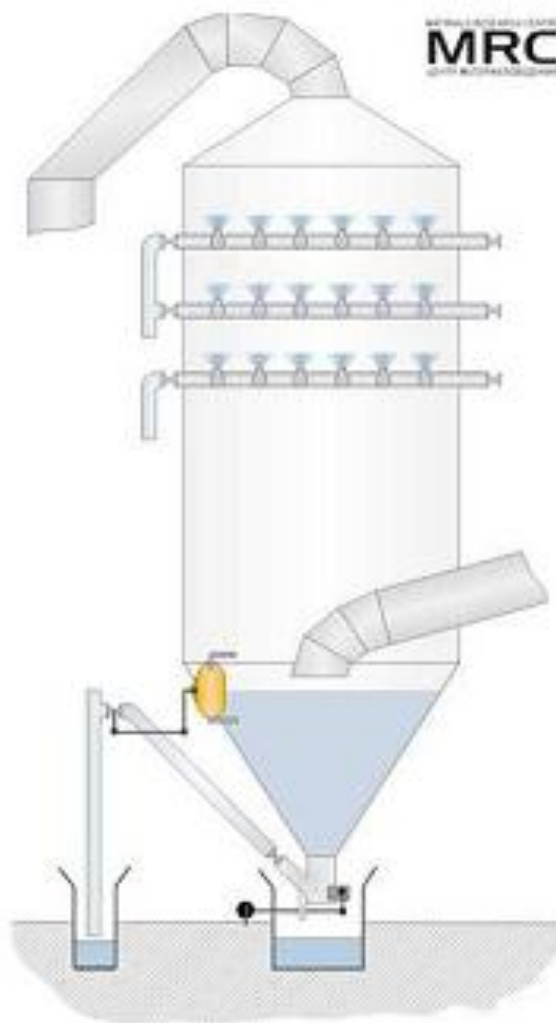


Рис. 3.4 – Схема вологого скрубера

3.5 Режими роботи та самоочищення системи фільтрації

Система фільтрації димових газів забезпечує ефективне очищення газів у різних технологічних режимах, що дозволяє підтримувати стабільну роботу установки та знижувати знос обладнання. Основний принцип роботи полягає у поетапному видаленні пилу та забруднень із подальшою автоматичною очисткою фільтруючих елементів.

У **нормальному режимі** система безперервно видаляє тверді частки та пил із димових газів. Потік газів спочатку проходить через циклонний сепаратор, який затримує крупнодисперсні частки, потім через вібраційні сита для відділення дрібнодисперсних частинок і, на завершення, через вологий скруббер, де відбувається остаточне очищення та зволоження газів для агломерації залишкових часток. Вібраційні сита працюють із частотою, що регулюється частотним перетворювачем, а клапан розпилення води у скруббері постійно відкритий для забезпечення контакту газів із водою. ПЛС контролює датчики тиску, температури та положення заслінок, коригуючи роботу вібраційних сит і клапанів для підтримки безперервного й ефективного процесу фільтрації.

Режим самоочищення передбачає видалення накопичених забруднень із фільтруючих елементів без зупинки роботи системи. Для вологого скруббера процедури очищення виконуються автоматично через задані інтервали, а для димарів — через імпульсне видування повітря, що дозволяє по черзі очищати основний і допоміжний димар. Під час самоочищення клапани та заслінки синхронно керуються через частотні перетворювачі та ПЛС, а датчики контролюють тиск у карманах і положення механізмів, запобігаючи пошкодженню обладнання. ПЛС координує роботу всіх підсистем, забезпечуючи безпечний і ефективний перехід між нормальним режимом і режимом очищення, при цьому самоочищення має найвищий пріоритет.

Система також забезпечує високий рівень безпеки та надійності: датчики тиску та положення дозволяють своєчасно виявляти засмічення або неправильне функціонування механізмів, а логічні блокування запобігають одночасному відкриттю декількох заслінок або запуску очищення при критичних перепадах тиску чи температури. Усі події та відмови відображаються оператору для забезпечення своєчасного технічного контролю.

Завдяки такій організації роботи система фільтрації димових газів забезпечує багатоступеневе очищення, підтримку стабільної роботи обладнання та циркуляційного контуру, автоматизацію процедур очищення без зупинки, високу надійність і безпеку, а також зменшення шкідливих викидів в атмосферу.

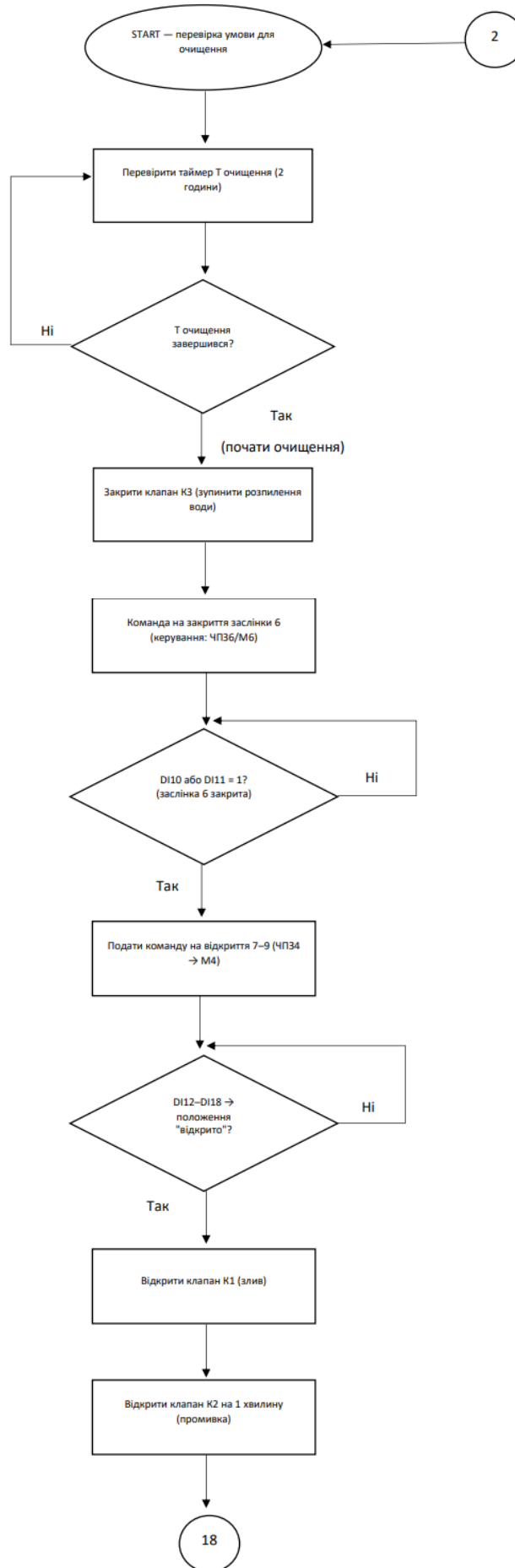


Рис. 3.5 Алгоритм самоочищення вологого скрубера ч.1

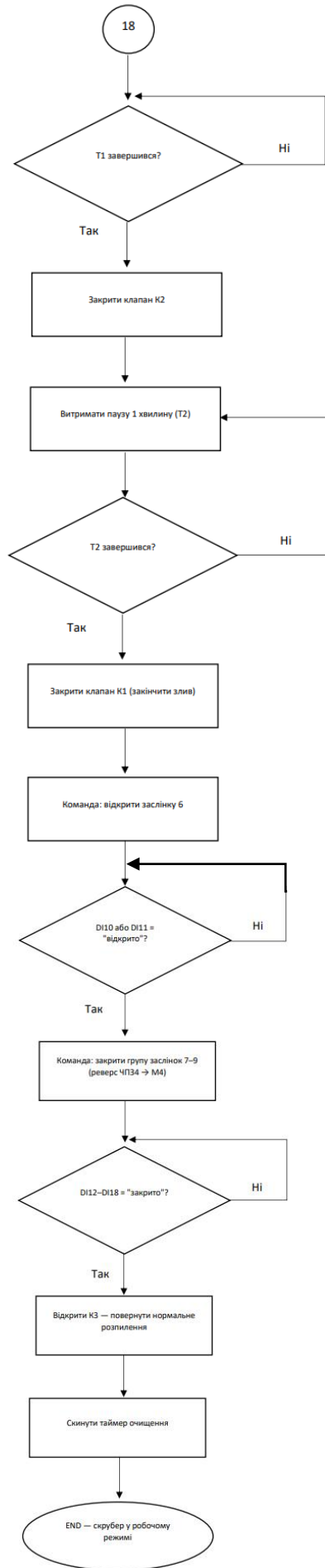


Рис. 3.6 Алгоритм самоочищення вологого скрубєра ч.2

4. СИСТЕМА САМООЧИЩЕННЯ ГАЗОХОДІВ І ДИМАРІВ

Система самоочищення газоходів і димарів є критичною для безперервної роботи установки та підтримки ефективної фільтрації димових газів. Вона дозволяє автоматично видаляти накопичені тверді частки та пил, що утворюються під час роботи печі та циркуляційного контуру, без необхідності зупинки основного процесу опалення.

Призначення системи полягає у видаленні осаду та твердих часток із димарів і газоходів, що забезпечує безперервний потік газів, запобігає надмірному забрудненню фільтруючих елементів та знижує ризик перегріву, підвищуючи безпеку роботи установки. Основним принципом дії є використання імпульсного видування повітря та синхронна робота заслінок для видалення накопиченого пилу та шламу. Процедури самоочищення проводяться циклічно відповідно до таймерів ПЛС, яка автоматично аналізує положення заслінок, перепад тиску та температуру димових газів, коригуючи роботу підсистем і пріоритет режимів.

У **імпульсному режимі очищення** димарі видаляють пил без зупинки роботи установки. Кожен цикл триває 30 секунд, з частотою одного імпульсу на секунду, а повторюється через 15 хвилин для чергування димарів. Під час циклу активний димар ізолюється заслінкою, через сопла імпульсних клапанів подається стиснене повітря, що видуває накопичений осад, а датчики контролюють тиск у карманах. У разі перевищення допустимих значень ПЛС зупиняє процес і формує повідомлення про проблему.

Особливості очищення димаря з теплопровідним матеріалом полягають у його ізоляції від циркуляційного контуру під час процедури. ПЛС керує частотним перетворювачем та двигуном, відкриваючи заслінки для подачі імпульсів повітря та збору видаленого осаду, а тиск контролюється в реальному часі. Після завершення циклу димар повертається у робочий стан, а наступний цикл відбувається через встановлений інтервал. Процедура очищення допоміжного димаря аналогічна, із застосуванням відповідних заслінок і датчиків, що забезпечує безпечну та ефективну роботу.

Таким чином, система самоочищення забезпечує безперервну та ефективну роботу димарів і циркуляційного контуру, підвищує технологічну і екологічну безпеку установки, автоматизована через ПЛС із контролем положень заслінок, тиску та температури, зменшуючи потребу в ручному обслуговуванні та ризик аварій, що гарантує тривалу та надійну експлуатацію.

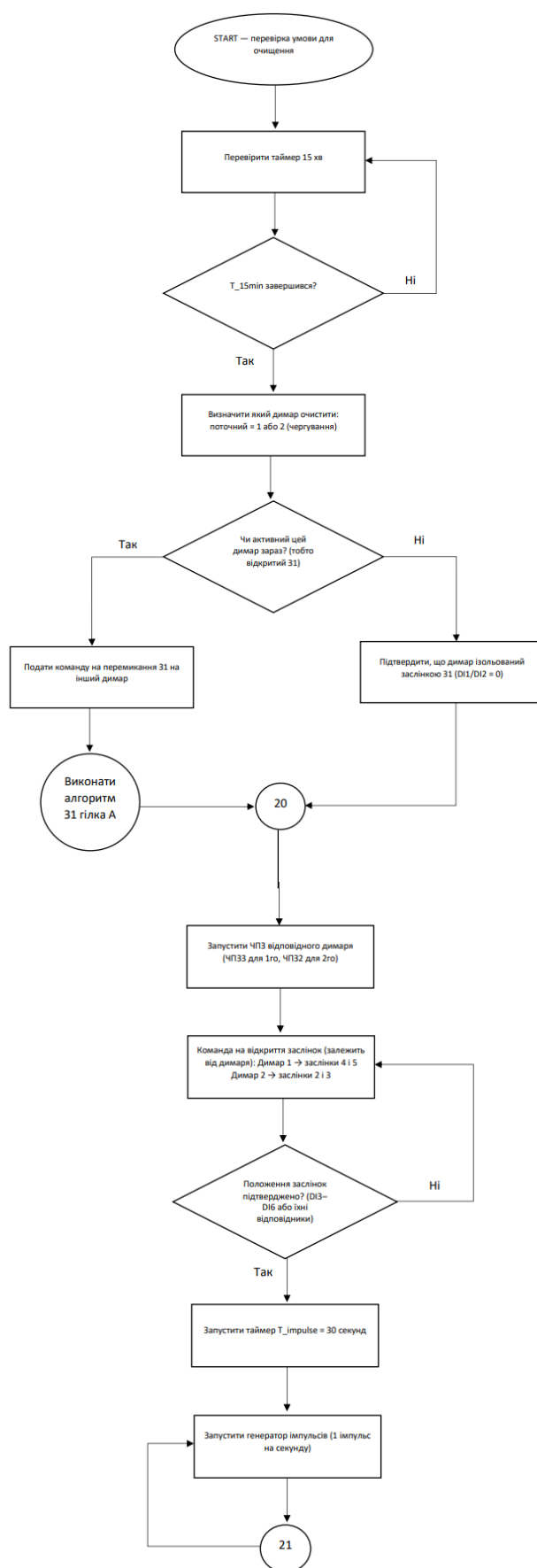


Рис. 4.1 Алгоритм самоочищення димарів

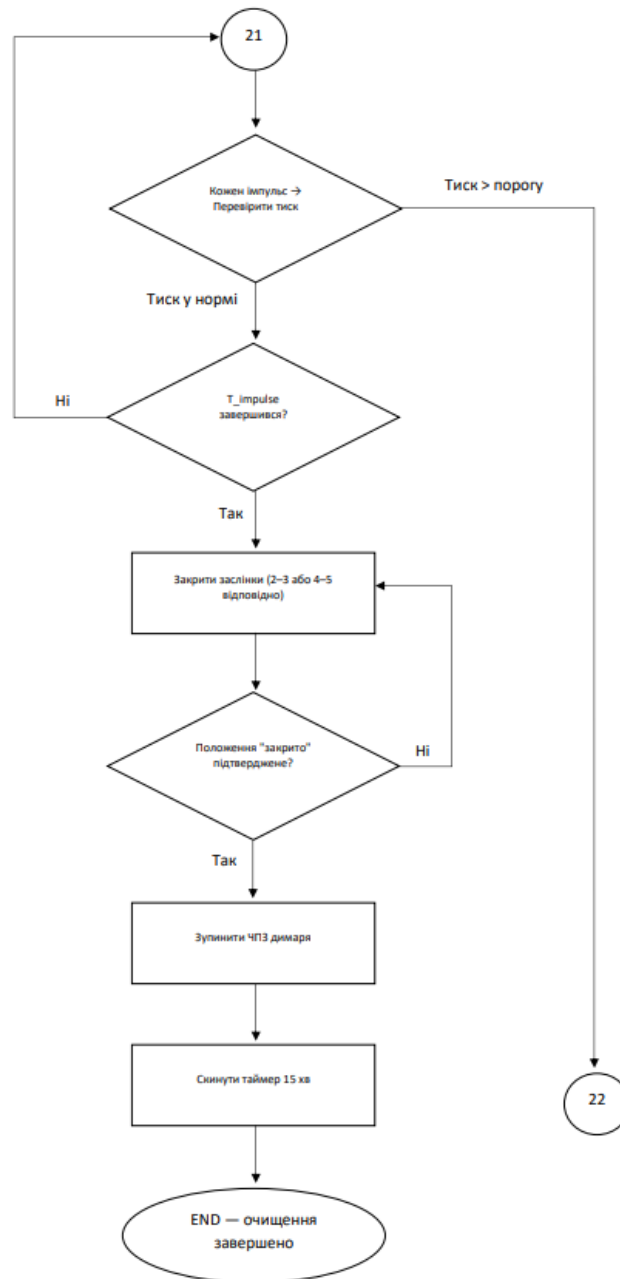


Рис. 4.2 Завершення алгоритму самоочищення димарів

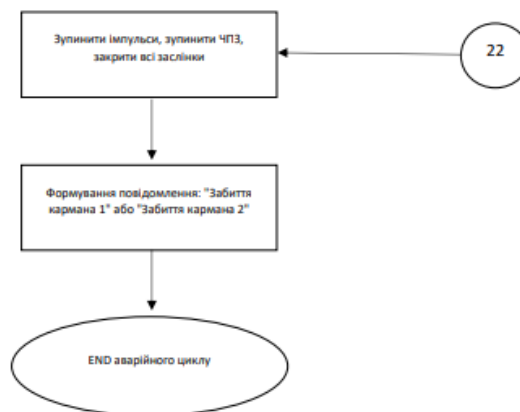


Рис. 4.3 Алгоритм сповіщення про забиття "кармана"

5. ЦИРКУЛЯЦІЙНА СИСТЕМА ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ТА ГІДРАВЛІКИ

Циркуляційна система теплопередачі та гідравліки є ключовою складовою автоматизованої установки опалення, забезпечуючи переміщення теплоносія між джерелами тепла, теплообмінними контурами та об'єктами споживання. Вона реалізує як нормальний режим обігріву, так і аварійні процедури скидання надлишкової температури, а також роботу з автономним котлом при необхідності.

Система є замкненим трубопроводом, до складу якого входять циркуляційний насос, що забезпечує постійний рух теплоносія через усі контури, насос підкачки для підтримки необхідного тиску, контур теплопровідного матеріалу, байпасна лінія для відведення надлишкової температури та контур котла, що використовується лише при підключенні автономного джерела тепла. Управління циркуляцією інтегроване з ПЛС, що автоматично переключає режими роботи та контролює стан насосів, клапанів і датчиків.

Контур теплопровідного матеріалу забезпечує передачу тепла від димаря до системи опалення. Під час нормальної роботи клапани K4 і K7 відкриті для проходу теплоносія, а K5 і K6 залишаються закритими, відкриваючись лише для скидання надлишкової температури. Циркуляційний насос підтримує стабільний теплообмін, а ПЛС регулює температуру води через відповідний датчик, коригуючи роботу насосів при зміні навантаження.

У нормальному режимі теплоносій проходить через димар із теплопровідним матеріалом, нагріваючи контур опалення. ПЛС контролює температуру та підтримує стабільний потік теплоносія, забезпечуючи рівномірний нагрів. У разі перевищення заданої температури система переходить у режим скидання надлишкової температури: клапани K4 і K7 закриваються, K5 і K6 відкриваються для відведення теплоносія по обхідній лінії, а насос підкачки підтримує необхідний тиск. ПЛС контролює температуру та перепад тиску, гарантуючи безпечне завершення процедури та запобігаючи перегріву обладнання.

Робота з автономним котлом активується при недостатній потужності димаря. ПЛС отримує сигнал «котел увімкнений» і координує відкриття та закриття клапанів, забезпечуючи проходження теплоносія через котел тільки при необхідності. При цьому клапани синхронізуються з насосами, щоб уникнути перерізу потоку та перегріву.

Для забезпечення безпеки система оснащена датчиками температури та тиску. Датчик надлишкового тиску активує клапани K8 і K9 для стабілізації системи, а ПЛС формує сигнали аварій та контролює роботу насосів і клапанів, що запобігає аварійним ситуаціям.

Таким чином, циркуляційна система теплопередачі та гідравліки всебічно забезпечує стабільну та безпечну роботу всієї установки.

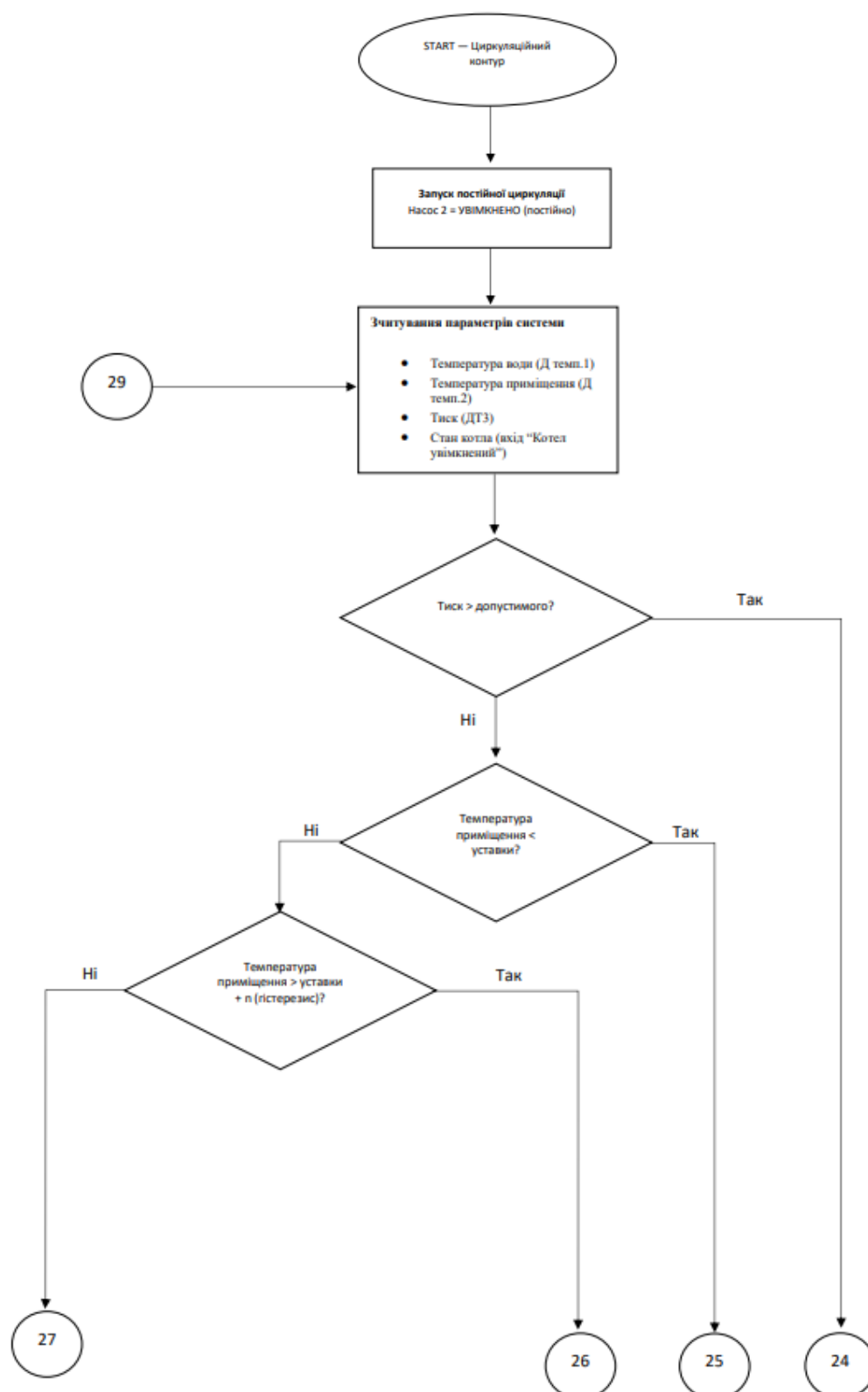


Рис. 5.1 Початок алгоритму циркуляційної системи

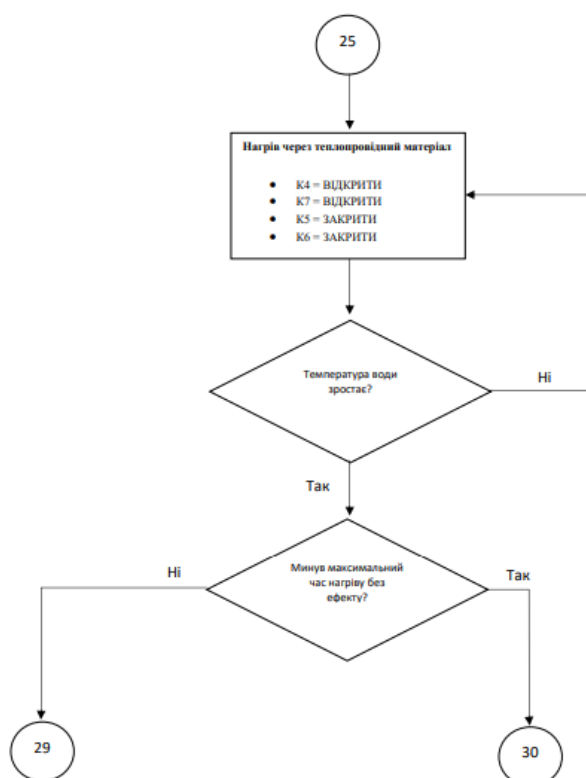


Рис. 5.2 Алгоритм режиму нагріву від димара

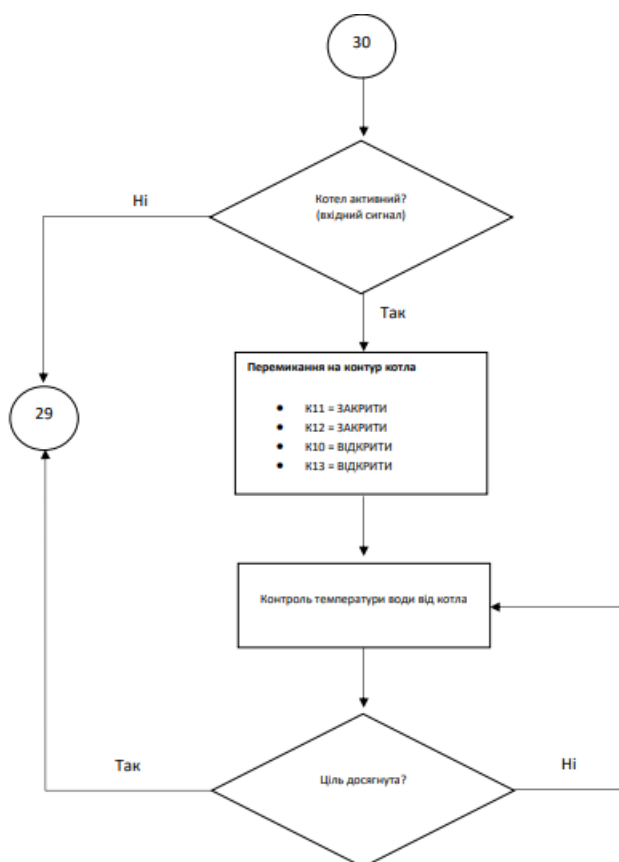


Рис. 5.3 Алгоритм режиму нагріву від котла

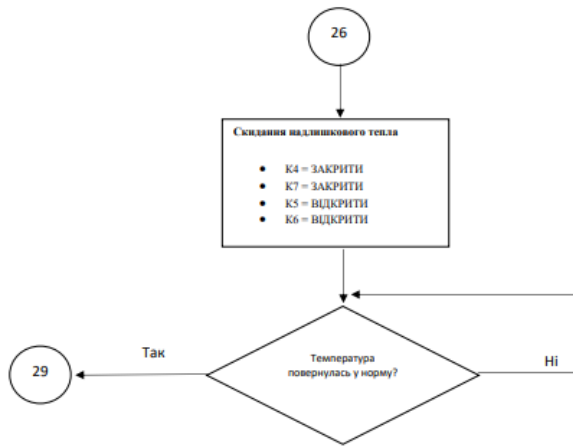


Рис. 5.4 Алгоритм режиму скидання температури

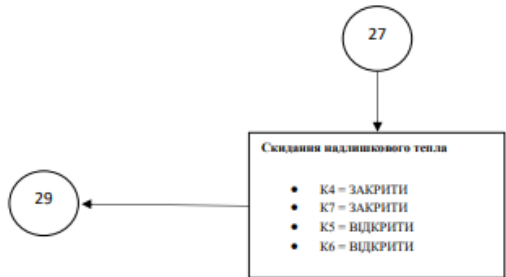


Рис. 5.5 Алгоритм підтримки температури

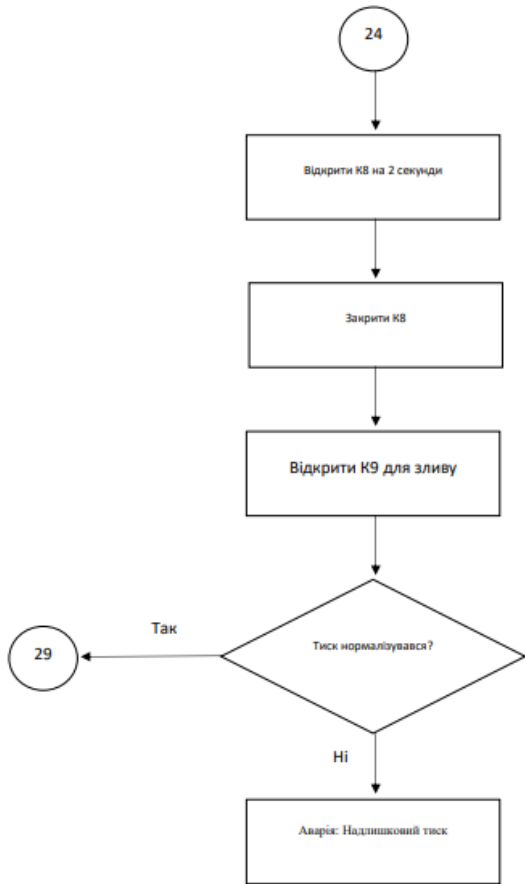


Рис. 5.6 Алгоритм аварійного скиду тиску

6. СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ

Система автоматичного керування та захисту забезпечує координацію роботи всіх підсистем установки, контроль ключових параметрів, підтримку оптимальних режимів та своєчасне реагування на аварійні ситуації. Основним керуючим елементом є програмований логічний контролер (ПЛС), який інтегрує дані з усіх датчиків і керує виконавчими механізмами, такими як клапани, заслінки та насоси.

ПЛС виконує моніторинг стану системи, збираючи інформацію з температурних, тискових та положеневих датчиків, а також контролює роботу всіх виконавчих пристроїв. Логіка керування включає підтримку нормального режиму обігріву, автоматичне скидання надлишкової температури, роботу з автономним котлом і режим самоочищення димарів та скрубера. Найвищий пріоритет має самоочищення, яке може переривати інші процеси для безпечного видалення забруднень.

Контроль температури та тиску здійснюється у реальному часі. Датчики води та приміщення відстежують нагрів і дозволяють ПЛС регулювати циркуляцію теплоносія відповідно до навантаження та фактичних умов. Датчики тиску газів і води виявляють перевищення допустимих значень; у такому випадку система відкриває клапани для зливу або стабілізації тиску, а ПЛС формує аварійні сигнали. Програмні та апаратні блокування запобігають одночасному відкриттю небезпечних комбінацій клапанів, а сигнальні реле забезпечують додатковий рівень захисту при можливій відмові ПЛС.

Система також здійснює сигналізацію та логування подій. Інформаційні повідомлення відображають стан механізмів і датчиків, а аварійні повідомлення сигналізують про перевищення критичних параметрів або засмічення системи. Історія подій зберігається для аналізу роботи та технічного обслуговування, що дозволяє своєчасно реагувати на відхилення та підтримувати високий рівень безпеки.

Таким чином, ПЛС виступає «мозком» установки, забезпечуючи централізоване управління, підтримку оптимальних режимів циркуляційного контуру, димарів і фільтрації, автоматичне реагування на аварійні ситуації та інтеграцію з усіма підсистемами, що гарантує стабільну, безпечну та надійну роботу установки.

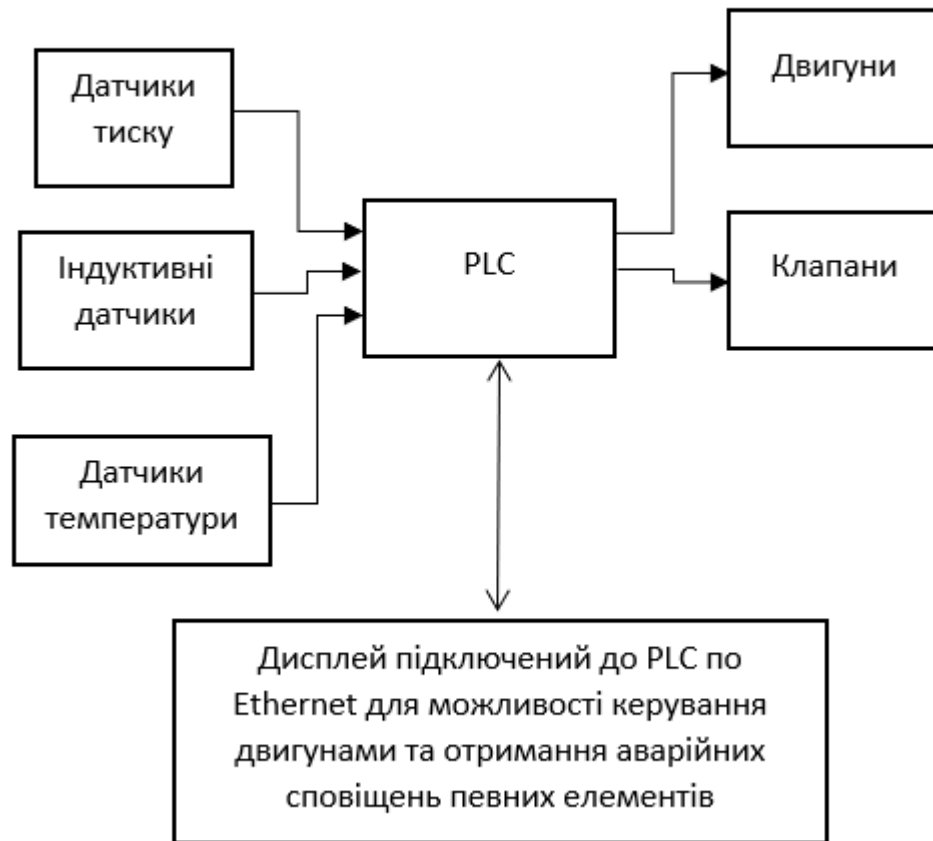


Рис. 5.6 Схема взаємодії елементів з ПЛС

7. ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДИМАРЯ ТА ТЕПЛОПРОВІДНОГО ЕЛЕМЕНТА, ПРИЄДНАНОГО ДО ДИМАРЯ

Правильний вибір матеріалу димаря та теплопровідного елемента, який контактує з димовими газами, є визначальним для довговічності та ефективності всієї теплотехнічної системи. У межах проєкту розглядається робочий діапазон температур димових газів від 350 до 600 °C з можливими короткочасними піками до 700 °C під час розігріву печі. Такі умови супроводжуються утворенням агресивних хімічних сполук — оксидів сірки, водяної пари, продуктів неповного згоряння — які при охолодженні можуть переходити у слабокислий або слаболужний конденсат. Димар повинен зберігати геометричну стабільність під дією циклічного нагрівання та охолодження, протистояти міжкристалітній та хімічній корозії, а також гарантувати пожежну і механічну надійність.

Нижче наведено порівняння можливих матеріалів, придатних для використання у димових каналах:

Матеріал	Переваги	Недоліки
Чорна (звичайна конструкційна)	сталь Низька ціна, легкість монтажу	Швидка корозія, неприйнятна для агресивних газів, малий ресурс
Жаростійка нержавіюча AISI 304 / AISI 321	сталь Добра корозійна стійкість, робота до 600 °C, довгий ресурс	304 погано переносить хлориди; 321 дорожча, але стабільніша
AISI 316Ti	Висока стійкість до кислотного конденсату, температура роботи до 700 °C, мінімальна деградація	Найдорожчий варіант у групі
Кислотостійка кераміка	Максимальна стійкість до кислот; ресурс 30–40 років	Дуже дорога, масивна, складність монтажу
Подвійні димоходи (сталь + вата)	сендвіч- (нерж. сталь) Зниження конденсатуутворення, стабільність температурних профілів	Застосовуються переважно в побутових системах, малоефективні для промислових температур

З урахуванням особливостей експлуатації найкращим матеріалом для димаря є жаростійка нержавіюча сталь **AISI 316Ti (1.4571)**. Вона забезпечує стабільну роботу при високих температурах, практично не деградує під дією циклічного нагріву, стійка до кислотного конденсату та не втрачає механічної міцності впродовж тривалого періоду експлуатації. Використання саме цього матеріалу мінімізує ризики корозійного руйнування та зменшує потребу в технічному обслуговуванні.

Вибір матеріалу теплопровідного елемента. Теплопровідний елемент (рекуперативна сорочка або вставка), що інтегрується в зону димаря, працює при температурах 150–350 °C і повинен передавати тепло до зовнішнього контуру без втрати своїх властивостей. Він також контактує з продуктами

згоряння, тому вимоги до його корозійної стійкості та термостабільності не менш важливі, ніж для самого димаря. Матеріал має бути сумісним із конструкцією димаря за коефіцієнтом теплового розширення, не створювати гальванічних пар та витримувати тривале нагрівання без деформацій.

У таблиці нижче наведено основні матеріали, що розглядаються для теплопровідного елемента:

Матеріал	Плюси	Мінуси
Мідь	Найвища теплопровідність (~400 Вт/м·К)	Активно кородує в середовищі з SO ₂ , складність з'єднань, висока ціна
Алюміній	Невелика маса, теплопровідність понад 200 Вт/м·К	Втрачає міцність вище 250 °С
Вуглецева сталь	Низька вартість, механічна міцність	Низька корозійна стійкість у димових газах
Нержавіюча сталь AISI 304/316	Висока стабільність, термостійкість, сумісність із димарем, відсутність гальванічних пар	Теплопровідність нижча, ніж у міді чи алюмінію, але достатня для рекуперації

З технічних міркувань оптимальним є використання нержавіючої сталі AISI 304 або AISI 316. Цей матеріал забезпечує достатню теплопровідність у поєднанні з високою стійкістю до агресивних газів і стабільністю при тривалому нагріванні. Крім того, конструкційна сумісність із димоходом із 316Ti дозволяє уникнути напружень у з'єднаннях та проблем із тепловими деформаціями.

Підсумок Матеріалом димаря обрано жаростійку нержавіючу сталь AISI 316Ti, яка забезпечує максимальну довговічність і стійкість у високотемпературному агресивному середовищі. Для теплопровідного елемента використовується AISI 304/316, що поєднує прийнятну теплопровідність із хімічною та механічною стабільністю. Такий підхід гарантує надійну роботу системи рекуперації тепла та знижує ризики експлуатаційних пошкоджень упродовж усього терміну служби установки.

8. ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

Елементна база автоматизованої системи опалення визначає ефективність і надійність усієї установки, забезпечуючи точне керування підсистемами та реалізацію складних алгоритмів автоматизації. Вибір відповідних компонентів впливає на безперебійну роботу системи, її безпеку та довготривалу експлуатацію без аварій.

У цьому розділі детально розглянуто основні групи елементів системи, їх функції, особливості конструкції та критерії вибору, що дозволяє зрозуміти логіку побудови та взаємодії всіх підсистем установки.

Загальні вимоги до елементної бази

Елементна база системи повинна відповідати наступним критеріям:

1. Надійність і довговічність: компоненти повинні витримувати промислові умови – високі температури, вологість, пил та механічні вібрації.
2. Сумісність із ПЛС: усі датчики та виконавчі механізми повинні коректно інтегруватися з Siemens S7-1215C DC/DC/DC через дискретні, аналогові та мережеві інтерфейси.
3. Точність та повторюваність: критично для датчиків температури, тиску та положення, щоб забезпечити коректну роботу алгоритмів управління.
4. Швидкодія виконавчих механізмів: приводи заслінок, насоси та клапани повинні оперативно реагувати на команди ПЛС, включаючи реверс та плавне позиціонування.
5. Безпека: апаратні та програмні блокування, контроль аварійних станів та сигналізація для оператора.

Завдяки цим вимогам система отримує високий рівень надійності та можливість автоматичного керування складними процесами без участі оператора.

Датчики з трансмітерами

Для забезпечення надійної та стабільної роботи системи фільтрації, циркуляції та керування димовими каналами були обрані промислові датчики з трансмітерами, сумісні з ПЛС і здатні працювати у складних умовах. Кожен сенсор підібраний відповідно до специфіки робочого середовища, необхідного діапазону вимірювання та вимог до точності.

У системі контролю положення заслінок використано індуктивний датчик Pepperl+Fuchs NJ12-18GM40-EK/UP/IN2/V1 у комплекті з трансмітером. Цей тип датчика дозволяє фіксувати кінцеві положення механізмів безконтактним способом, що виключає механічний знос і забезпечує стабільну роботу навіть у запиленому та вологому середовищі димових каналів. Датчик встановлюється безпосередньо біля рухомих частин, зчитує наявність металевої мітки та через трансмітер передає у ПЛС інформацію про поточне положення заслінки. Це дозволяє точно синхронізувати роботу приводів, механізмів очистки та алгоритмів перемикання димарів.



Рис. 8.1. Pepperl+Fuchs NJ12-18GM40-EK/UP/IN2/V1

Для контролю тиску газів у димових каналах застосовано датчик Wika A-10 у виконанні для низьких тисків. Він встановлюється на газоходах перед заслінками і забезпечує безперервний контроль тяги та загального стану каналу. Сигнал із трансмітера використовується ПЛС для аналізу тиску, виявлення відхилень у роботі, своєчасного перемикання димарів та формування аварійних режимів, пов'язаних із розгерметизацією або порушенням циркуляції газів.

У частині гідравліки системи застосовується датчик тиску Danfoss MBS 3000, який працює у діапазоні до 10 бар. Його використовують у контурі циркуляції води та у магістралі промивки скрубера. Датчик реєструє фактичний тиск у системі та передає його через трансмітер у ПЛС, що дозволяє забезпечити стабільну подачу води, запуск і зупинку насосів, контроль аварійних станів та коректне функціонування промивних процесів у скрубєрі.



Рис. 8.2 Danfoss MBS 3000 та Wika A-10

Вимірювання температури води у трубопроводі здійснюється датчиком Siemens QAE2120.010, встановленим у гільзі на магістралі теплоносія. Після перетворення сигналу трансмітером дані передаються на ПЛС, що дає можливість контролювати нагрів, корегувати циркуляцію, керувати роботою котла та підтримувати стабільні теплові режими системи.

Температура приміщення вимірюється датчиком Siemens QFA3171. Він монтується у технічному приміщенні, контролює температуру повітря та передає її на ПЛС у стандартизованому вигляді. Це забезпечує коректну роботу логіки перемикавання димарів, запуск вентиляції й контроль умов, у яких працює обладнання системи очистки та циркуляції тепла.

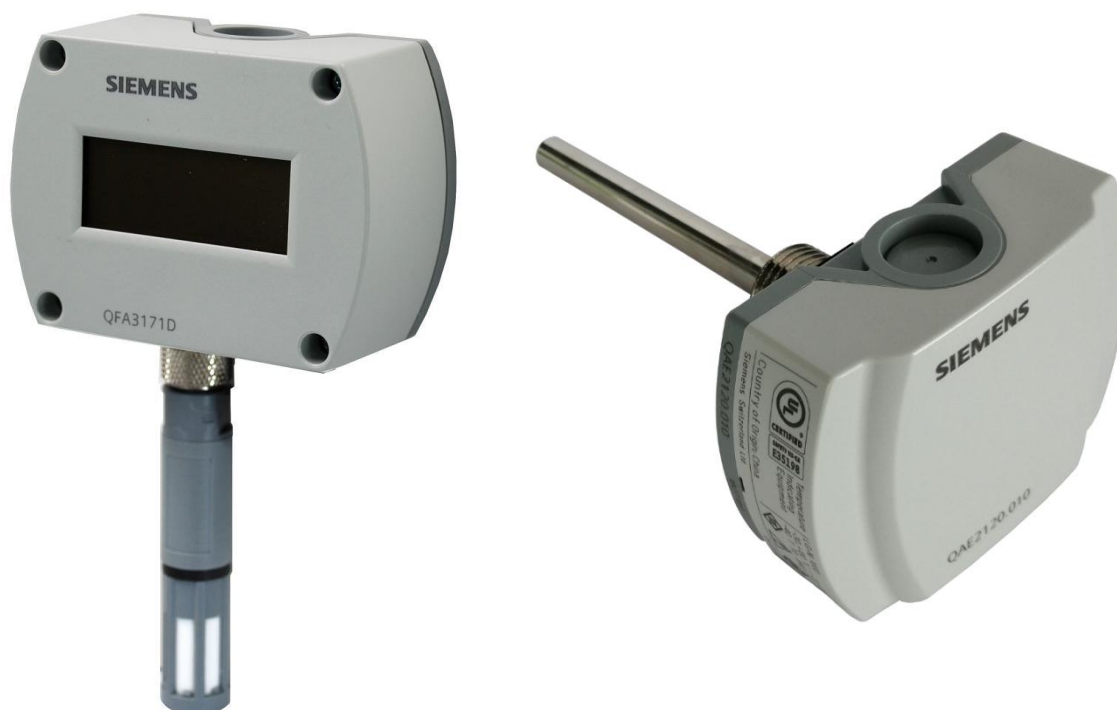


Рис. 8.3 QFA3171 та Siemens QAE2120.010

Обране обладнання формує повний комплекс засобів вимірювання, що дозволяє точно контролювати положення механізмів, параметри газового і водяного середовища та температурні режими. Усі датчики інтегруються з ПЛС через трансмітери, що гарантує стабільність сигналів, високу завадостійкість та можливість роботи у промислових умовах.

Табл. 7.1 Датчики з трансмітерами

№	Компонент	Модель	Призначення	Особливості
1	Індуктивний датчик положення	Pepperl+Fuchs NJ12-18GM40-EK/UP/IN2/V1 трансмітер	Контроль кінцевих положень заслінок + димарів та механізмів очистки	Передача сигналу на ПЛС/DAQ, безконтактне визначення, захист від пилу та вологи
2	Датчик тиску газів	Wika A-10 (0...100 мбар) + трансмітер	Контроль тиску димових каналів	Цифровий/аналоговий сигнал на ПЛС
3	Датчик тиску води	Danfoss MBS 3000 (0...10 бар) + трансмітер	Контроль тиску в циркуляційній системі та промиванні скрубера	Цифровий/аналоговий сигнал, інтеграція з ПЛС
4	Датчик температури води	Siemens QAE2120.010 трансмітер	Вимірювання температури теплоносія; для запуску котла	Промисловий стандарт, стабільні характеристики
5	Датчик температури приміщення	Siemens QFA3171 + трансмітер	Контроль температури у зоні обслуговування; перемикач димарів	Підключення до ПЛС через трансмітер

Виконавчі механізми

У системі керування димовими каналами, фільтраційними вузлами та циркуляцією теплоносія використані промислові електроприводи, підібрані відповідно до навантажень, необхідної точності позиціонування та умов роботи обладнання. Усі двигуни інтегруються з частотними перетворювачами Mitsubishi FR-E840-0300-4-60, що забезпечує плавний пуск, стабільне регулювання швидкості та узгоджену роботу механізмів у складі загальної системи.

Для приводу заслінок димарів застосовані електродвигуни Nord SK 430E у комплекті з редукторними модулями SK 02040 потужністю 0,37 кВт. Таке виконання забезпечує необхідний крутний момент для переміщення заслінок 31 та 32–39 у всіх режимах роботи системи. Двигуни працюють із частотними перетворювачами, що дозволяє точно керувати швидкістю та забезпечувати плавне позиціонування заслінок у процесах регулювання тяги, перемикання каналів та формування оптимального режиму горіння. Компактність редукторів та стабільність їх роботи полегшують монтаж у зоні димових каналів і забезпечують довговічність механізмів.



Рис. 8.4 Nord SK 430E

В вузлі очистки встановлений вібратор OLI MVE 100/3, який виконує роль струшувача. Він використовується для видалення частинок, що осідають у циклоні та на фільтрувальних сітках. Робота вібратора здійснюється через частотний перетворювач, що дає змогу регулювати інтенсивність коливань відповідно до режиму очистки та ступеня накопичення пилу. Стабільність механічної частини та можливість точного керування частотою роблять його придатним для роботи у запиленому середовищі та під час багатократних циклів включення.

У контурі циркуляції теплоносія основним елементом є насос Grundfos MAGNA3 32-80 180 у трифазному виконанні. Він забезпечує основну циркуляцію води через теплообмінні елементи системи. Завдяки керуванню через частотний перетворювач насос працює з адаптацією до поточного навантаження, що дозволяє підтримувати стабільний гідравлічний режим, коригувати витрату теплоносія та уникати гідроударів. Насосне обладнання такого типу має високу стабільність роботи, що критично при змінних теплових навантаженнях від димових каналів.



Рис. 8.5 OLI MVE 100/3 та Grundfos MAGNA3 32-80 180

Для підтримки робочого тиску в системі встановлений підкачувальний насос Grundfos UPS 32-80 180. Він працює у парі з основним насосом і вмикається в тих режимах, де потрібно компенсувати падіння тиску або забезпечити додатковий об'ємний потік. Підключення до частотного перетворювача дозволяє плавно регулювати продуктивність і забезпечувати рівномірне заповнення системи незалежно від змін у гідравлічному контурі.



Рис. 8.6 Grundfos UPS 32-80 180

Табл. 7.2 Виконавчі механізми

№ Компонент	Модель	Призначення	Особливості
1 Електродвигуни заслінок	Nord SK 430E + SK 02040 (0,37 кВт)	Привід заслінок 31, 2–9	Плавне позиціонування, реверсний рух; керуються 6 частотниками FR-E840-0300-4-60
2 Вібровал (струшувач)	OLI MVE 100/3	Струшування частинок у циклоні та на сітках	Регульована частота коливань; керування FR-E840-0300-4-60
3 Циркуляційний насос	Grundfos MAGNA3 32-80 180, 3×400 V	Основна циркуляція теплоносія	Керування FR-E840-0300-4-60
4 Підкачувальний насос	Grundfos UPS 32-80 180, 3×400 V	Підтримка робочого тиску	Керування FR-E840-0300-4-60

Застосовані двигуни й насоси формують повністю узгоджений комплекс виконавчих механізмів, а інтеграція всіх приводів із частотними перетворювачами дає змогу реалізувати плавне регулювання, підвищити надійність системи та забезпечити тривалий ресурс роботи обладнання.

Клапани

До складу елементної бази системи входять ключові виконавчі механізми, що забезпечують керування процесами очищення та циркуляції. Зокрема, клапан на воду Danfoss EV220B 15 NC 24 VDC виконує управління подачею води у вологий скруббер та забезпечує промивку фільтруючих елементів. Його робота контролюється програмованим логічним контролером, що дозволяє автоматично підтримувати необхідний режим фільтрації та очищення без участі оператора.

Імпульсний клапан повітря ASCO 353G037 застосовується для формування повітряних імпульсів, які використовуються під час очищення димарів. Клапан працює синхронно з блоком управління заслінками, що забезпечує точне видалення накопичених твердих часток і пилу та підтримує безперервну роботу газоходів і димарів.



Рис. 8.7 Danfoss EV220B 15 NC 24 VDC та ASCO 353G037

Табл. 7.3 Клапани

№	Компонент	Модель	Призначення	Особливості
1	Клапан на воду (NC)	Danfoss EV220B 15 NC 24 VDC	Управління подачею води у скруббер та промивку	Контроль через ПЛС
2	Імпульсний клапан повітря	ASCO 353G037	Формування імпульсів для очищення димарів	Синхронізований з блоком управління заслінками

Сигнальна апаратура та реле

До елементної бази системи також входить сигнальна апаратура та реле, що забезпечують безпечну і надійну роботу керувальних ланцюгів. Зокрема, сигнальне реле Omron MY4N-G-DC24 виконує функцію гальванічної розв’язки сигналів та комутації керувальних ланцюгів, що підвищує безпеку і надійність автоматичної системи. Завдяки довговічності та високій надійності цей елемент забезпечує стабільну роботу навіть у разі короткочасних відхилень у електричних параметрах системи.



Рис. 8.8 Omron MY4N-G-DC24

Табл. 7.4 Реле

№	Компонент	Модель	Призначення	Особливості
1	Сигнальне реле	Omron MY4N-G-DC24	Гальванічна розв’язка сигналів, комутація керувальних ланцюгів	Надійність і довговічність

Програмований логічний контролер (ПЛС)

Центральним елементом системи автоматизації є програмований логічний контролер Siemens S7-1215C DC/DC/DC, який виконує функції керування усіма підсистемами установки. ПЛС збирає дані з дискретних і аналогових датчиків, обробляє сигнали, координує роботу виконавчих механізмів і забезпечує інтеграцію з DAQ/SCADA системою через Ethernet (Profinet). Базова конфігурація контролера включає 14 дискретних входів, 10 дискретних виходів та 2 аналогові входи, що дозволяє безпосередньо підключати ключові датчики та механізми установки.

Для розширення функціональності ПЛС використовуються модулі розширення. Модуль дискретних входів SM 1221 забезпечує додаткові 16 цифрових входів, що дозволяє підключати широкий спектр датчиків положення, тиску, температури та інших сигналів із підсистем. Аналогічно, модуль дискретних виходів SM 1222 надає 16 додаткових цифрових виходів для керування клапанами, заслінками, приводами насосів та іншими виконавчими механізмами.



Рис. 8.9 S7-1215C DC/DC/DC та SM 1221

Для роботи з аналоговими датчиками застосовується модуль SM 1231 AI, який підтримує 8 аналогових входів із сигналами 0–10 В або 4–20 мА. Це дозволяє ПЛС отримувати точні вимірювання температури, тиску або витрати теплоносія та інтегрувати їх у систему автоматичного регулювання.

Узгоджена робота ПЛС та модулів розширення забезпечує централізоване управління всією установкою, дозволяючи реалізувати складні алгоритми контролю, підтримувати безперервний режим роботи підсистем і своєчасно реагувати на аварійні ситуації. Така архітектура гарантує надійність, точність і гнучкість автоматизованої системи опалення.

Табл. 7.5 ПЛС та модулі

№ Компонент	Модель	Призначення	Особливості
1 ПЛС	Siemens 1215C DC/DC/DC	S7- Центральний вузол керування всіма підсистемами	14 дискретних входів, 10 дискретних виходів, 2 аналогові входи, Ethernet (Profinet) для DAQ/SCADA
2 Модуль дискретних входів	SM 1221 DI 16x DC	Розширення кількості цифрових входів для ПЛС	16 дискретних входів DC (DI15–DI30)
3 Модуль дискретних виходів	SM 1222 DO 16x DC	Розширення кількості цифрових виходів для ПЛС	16 дискретних виходів DC (DO11–DO26)
4 Модуль аналогових входів	SM 1231 AI 8x (0–10 В / 4–20 мА)	Підключення аналогових датчиків	8 аналогових входів, підтримка сигналів 0–10 В та 4–20 мА

Частотні перетворювачі

Для керування приводами заслінок, вібровала та насосів обрано частотні перетворювачі Mitsubishi FR-E840-0300-4-60 потужністю 15 кВт, 3-фазні. Вони забезпечують плавний пуск і зупинку двигунів, реверс обертання, захист від перевантаження та перегріву, що підвищує надійність роботи системи. Частотники сумісні з ПЛС через Profinet, що дозволяє інтегрувати їх у систему автоматизації для дистанційного керування та моніторингу. Можливість групового керування приводами спрощує синхронізацію роботи декількох механізмів і робить FR-E840 оптимальним вибором для промислових приводів у системах опалення та циркуляції газів.

Табл. 7.5 Частотний перетворювач

№	Компонент	Модель	Призначення	Особливості
1–	Потужні	FR-E840-	Керування	Плавний
6	частотники	0300-4-60, 15 кВт, 3ф	заслінок, вібровала та насосів (по групах)	пуск/зупинка, захист двигуна, сумісність з ПЛС по Profinet

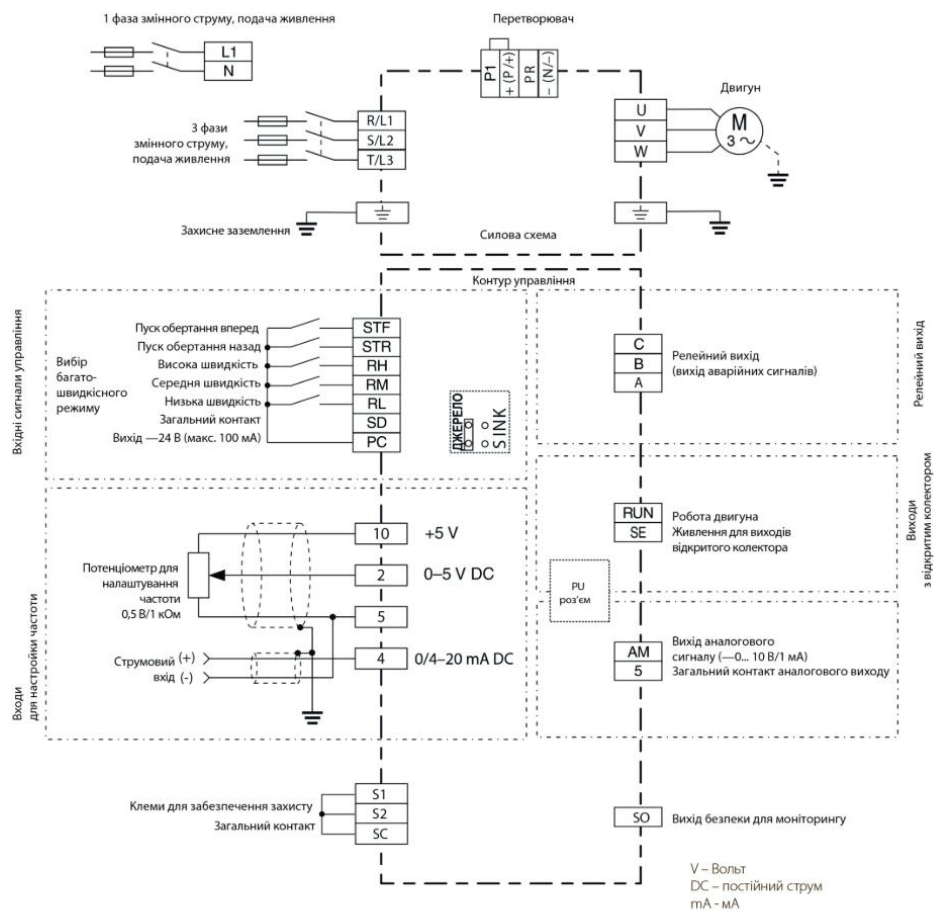


Рис. 8.11 Клеми ЧП FR-E840-0300-4-60, 15 кВт, 3ф

Мережеве обладнання

Для збору та передачі технологічних параметрів у системі обрано вбудований DAQ-модуль по Ethernet. Він забезпечує підключення до ПЛС через протокол Profinet, що дозволяє інтегрувати дані безпосередньо у систему автоматизації. Модуль підтримує дистанційний моніторинг та інтеграцію з SCADA/HMI, що дає змогу відстежувати параметри роботи обладнання в реальному часі та оперативно реагувати на зміни технологічного процесу. Використання вбудованого DAQ-модуля спрощує архітектуру системи та підвищує надійність збору даних.



Рис. 8.11 DAQ-модулі по Ethernet

Табл. 7.5 DAQ-модуль

№ Компонент	Модель	Призначення	Особливості
1 DAQ-модуль по Ethernet	Вбудований	Збір та передача технологічних параметрів	Підключення до ПЛС через Profinet, дистанційний моніторинг, інтеграція з SCADA/HMI

Таким чином, підібрана елементна база забезпечує оптимальну роботу системи та реалізацію всіх функцій керування і захисту автоматизованої установки опалення.

9. ПИТАННЯ НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ

Надійність та безпека автоматизованої системи опалення є ключовими аспектами, що визначають стабільність роботи, збереження обладнання та безпеку персоналу. Вони досягаються комплексним поєднанням апаратних, програмних та організаційних рішень, які забезпечують безперервне виконання функцій системи та своєчасну реакцію на відхилення.

Надійність роботи автоматизованої системи визначається її здатністю безперервно виконувати задані функції протягом визначеного часу без відмов. На неї впливають кілька основних факторів. По-перше, якість компонентів — використання промислових датчиків, виконавчих механізмів і частотників гарантує тривалий термін служби та стійкість до зовнішніх впливів, таких як вологість, пил чи підвищені температури. По-друге, резервування критичних елементів, включаючи дублювання датчиків та сигналізаційних реле, дозволяє продовжити роботу системи навіть при відмові окремого компонента. По-третє, системи моніторингу на базі ПЛС і DAQ-модулів забезпечують постійний контроль стану підсистем, фіксацію параметрів та своєчасне реагування на відхилення. Нарешті, програмні алгоритми перевірки контролюють коректність сигналів від датчиків, стабільність приводів та параметрів системи, запобігаючи аварійним станам.

Захист від відмов датчиків і виконавчих механізмів. Система передбачає багаторівневий захист від відмов. Безконтактні індуктивні датчики положення та кінцеві вимикачі передають достовірну інформацію на ПЛС, зменшуючи ризик помилкових сигналів. Датчики температури та тиску оснащені цифровими та аналоговими виходами, що дозволяє перевіряти узгодженість сигналів і своєчасно виявляти відмови. Виконавчі механізми, включно з приводами заслінок, насосами та клапанами, керуються через частотні перетворювачі FR-E840-0300-4-60, що забезпечують плавний пуск, реверс і захист від перевантаження двигунів. Додатково використовуються сигнальні реле та індикатори, що формують апаратний рівень захисту від некоректної комутації. У разі некоректного сигналу від датчика ПЛС автоматично зупиняє критичні цикли та повідомляє оператора.

Програмні та апаратні блокування забезпечують коректну послідовність роботи механізмів, запобігають одночасному відкриттю клапанів у небезпечних комбінаціях, переривають цикли самоочищення при критичних відхиленнях температури чи тиску та контролюють логіку перемикання димарів із синхронізацією руху заслінок. Апаратні блокування включають сигнальні реле Omron MY4N-G-DC24 для гальванічної розв'язки та дублювання аварійних сигналів, фізичні обмежувачі руху заслінок та світлодіодні індикатори на щиті керування, що відображають стан критичних елементів. Такий комплекс мінімізує ризик аварій навіть при відмові ПЛС або некоректних сигналах датчиків.

Дії системи при аварійних ситуаціях. Система передбачає автоматичне реагування на аварійні події. У випадку перевищення тиску води відкривається клапан К8 на 2 секунди для скидки надлишку в резервуар РЗ, при цьому активується К9 для стабілізації. При забитті карманів димарів датчики тиску ДТ1 сигналізують ПЛС, який зупиняє цикл очищення і формує повідомлення «Забиття кармана». При перевищенні температури теплоносія або приміщення система активує режим скидання надлишкової температури, відкриваючи байпасні клапани та перенаправляючи теплоносій. Відмова приводів заслінок або насосів контролюється через струм двигунів частотниками, які при перевантаженні зупиняють механізм і сигналізують оператору. У разі відмови датчика ПЛС використовує резервний сигнал або переводить систему у безпечний режим очікування, уникаючи небезпечних комбінацій клапанів і насосів. Алгоритм завжди віддає пріоритет безпеці, а вторинні процеси, такі як нагрів чи самоочищення, перериваються до нормалізації параметрів.

Моніторинг та сигналізація. Забезпечення надійності та безпеки досягається комплексним підходом: використанням надійних компонентів і виконавчих механізмів, систематичним контролем температури, тиску та положення, застосуванням програмних і апаратних блокувань для запобігання аваріям, автоматичними алгоритмами реагування на критичні ситуації та повною інтеграцією з системами моніторингу та сигналізації. Такий підхід гарантує безпечну, стабільну та довготривалу роботу системи опалення навіть при можливих відмовах окремих компонентів.

ВИСНОВОК

У межах дипломної роботи було виконано повний цикл науково-прикладного дослідження та інженерної розробки автоматизованої системи опалення з інтегрованими підсистемами циркуляції теплоносія, очищення димових газів і самоочищення. Отримані результати підтверджують досягнення поставленої мети та свідчать про високий рівень технічної, функціональної й практичної реалізованості запропонованого рішення.

Розроблена система вирізняється комплексним підходом до автоматизації теплотехнічного об'єкта, поєднуючи енергоефективність, екологічну безпеку та високу надійність. Запропонована архітектура з централізованим керуванням на базі програмованого логічного контролера Siemens S7-1215C забезпечує узгоджену роботу всіх підсистем у різних режимах експлуатації — від нормального обігріву до аварійного скидання тепла та автоматичного очищення димових каналів. Інтеграція автономного котла як допоміжного джерела тепла без прямого керування ПЛС істотно підвищує відмовостійкість системи та її експлуатаційну стабільність.

Особливу увагу в роботі приділено підсистемі керування димарями, циркуляцією теплоносія та очищенням димових газів. Розроблена логіка керування заслінками, клапанами та насосами дозволяє забезпечити оптимальні теплотехнічні режими, мінімізувати ризики перегріву та забруднення, а також автоматично реагувати на нештатні ситуації. Використання багатоступеневої системи фільтрації димових газів у поєднанні з циклами самоочищення значно підвищує екологічні показники установки та зменшує потребу в ручному обслуговуванні.

Запропоновані рішення з резервування датчиків, апаратних і програмних блокувань, а також інтеграції з SCADA/HMI і системами збору даних забезпечують високий рівень промислової безпеки та наочний контроль технологічних параметрів у реальному часі. Обґрунтований вибір елементної бази та її коректна інтеграція з ПЛС підтверджують інженерну доцільність і промислову придатність розробленої системи.

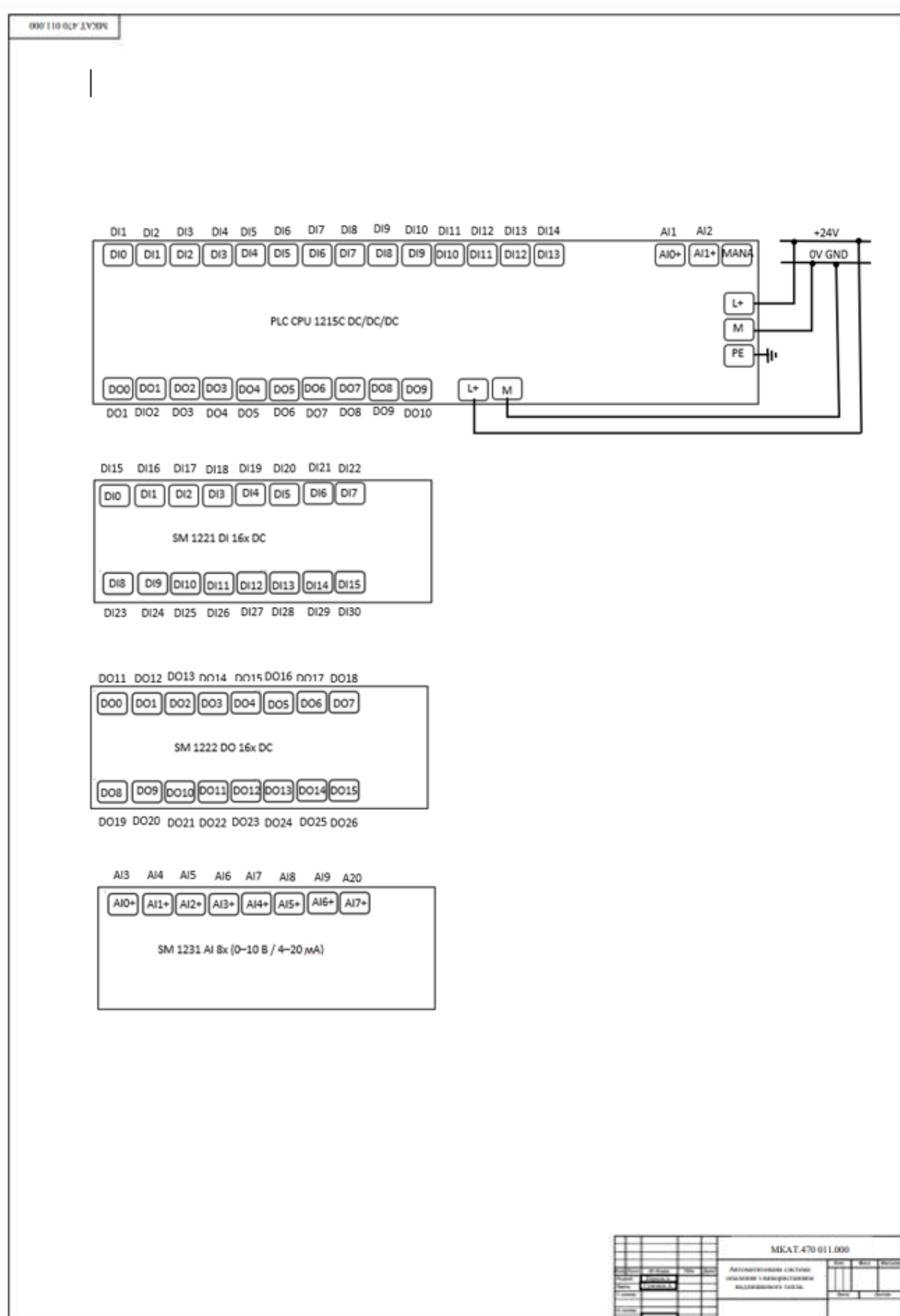
Практична значущість дипломної роботи полягає в можливості використання отриманих результатів як основи для проектування та впровадження сучасних автоматизованих систем опалення в промислових умовах із підвищеними вимогами до ефективності, екологічності та надійності. Реалізація запропонованого підходу дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити ресурс обладнання та забезпечити стабільну роботу об'єкта без постійної присутності обслуговуючого персоналу.

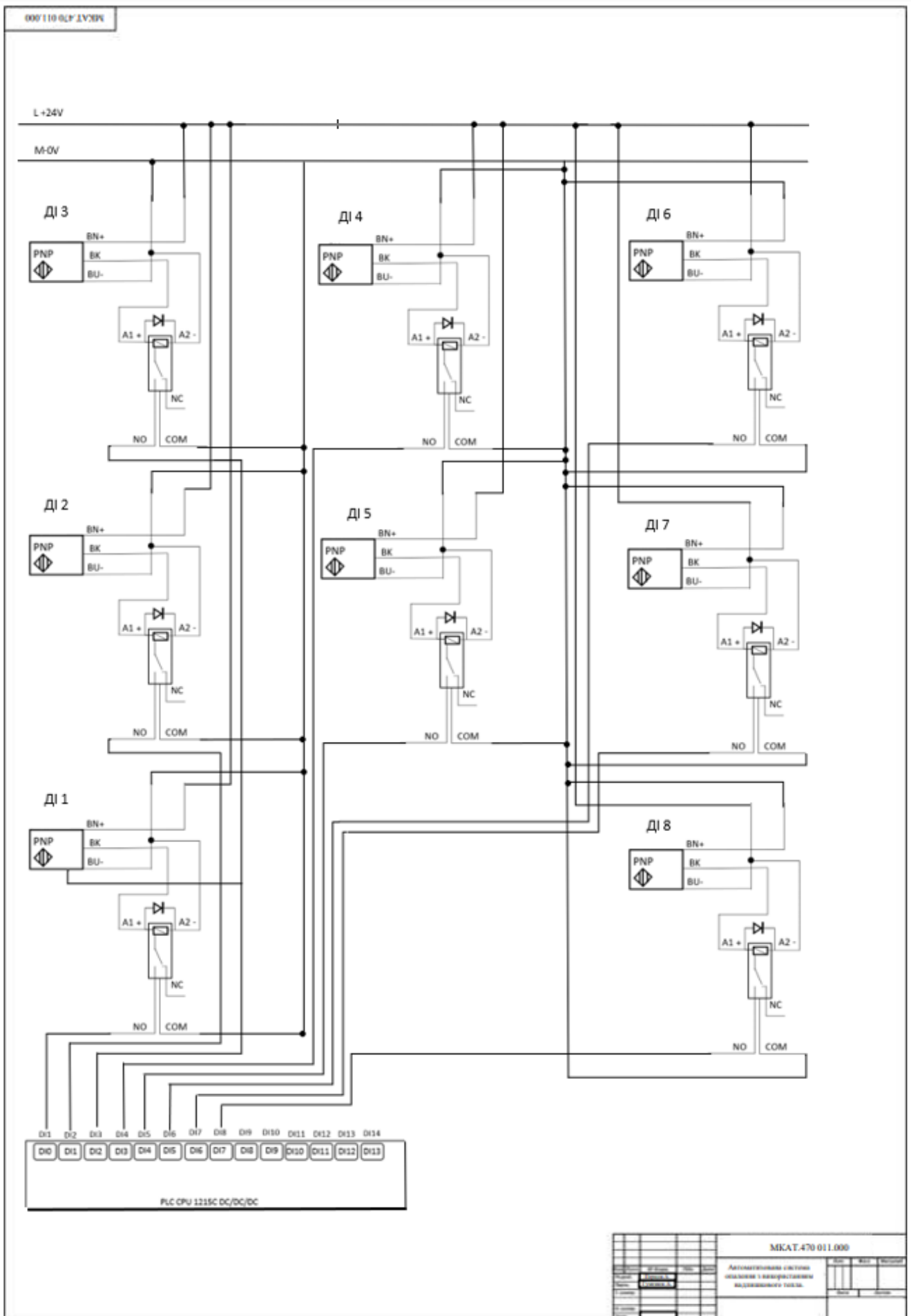
Таким чином, дипломна робота має завершений характер, містить елементи науково-технічної новизни та практичної цінності, а отримані результати можуть бути рекомендовані до подальшого використання, модернізації або впровадження у реальних автоматизованих теплотехнічних системах.

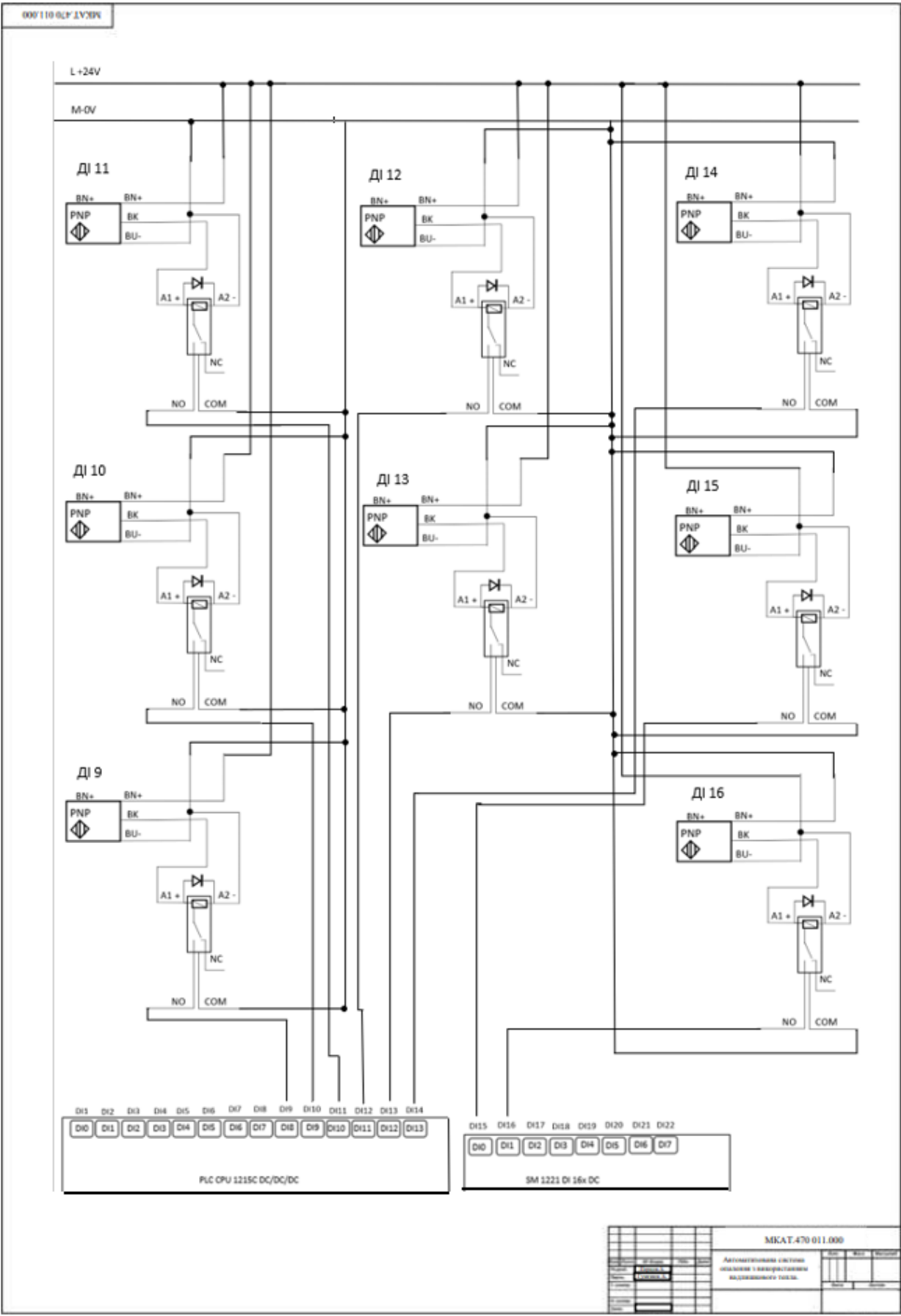
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

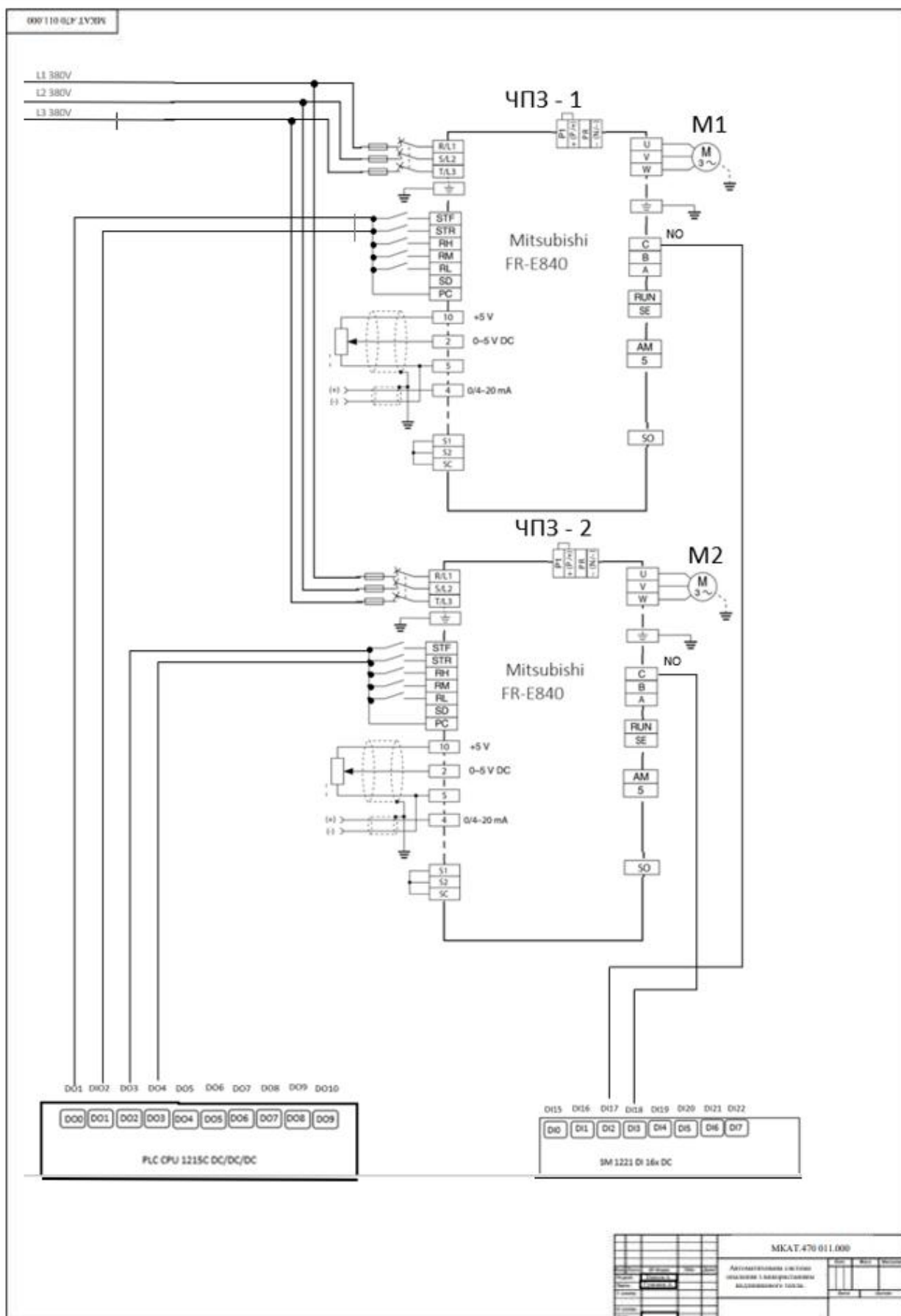
1. **Siemens AG.** *SIMATIC S7-1200 System Manual*. Siemens Industry Online Support, 2024.
2. **Pepperl+Fuchs GmbH.** *Inductive Sensors Catalog NJ Series*, 2023.
3. **Wika Instruments.** *Pressure Sensors and Transmitters A-10 Series*, 2022.
4. **Danfoss Group.** *Industrial Control Valves and Pressure Sensors Manual*, 2023.
5. **Siemens AG.** *Temperature Measurement Devices QAE/QFA Series*, 2023.
6. **Nord Drivesystems GmbH.** *SK Series Electric Motors Catalog*, 2022.
7. **OLI Impianti S.r.l.** *Vibratory Conveyors and Sieves Manual*, 2022.
8. **Grundfos A/S.** *MAGNA3 and UPS Pump Technical Guide*, 2023.
9. **ASCO Numatics.** *353 Series Solenoid Valves Manual*, 2023.
10. **Omron Corporation.** *MY4N-G-DC24 Signal Relay Datasheet*, 2022.
11. **ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment**, 2021.
12. **IEC 61511 – Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry**, 2022.
13. **Mitsubishi Electric.** *FR-E800 Series Frequency Inverter Manual*, 2022.
14. **Dyn-Soft.** *robSim – Industrial Automation Simulation Tool*, 2023.
15. Авторські статті та журнали з промислової автоматизації (2020–2024)

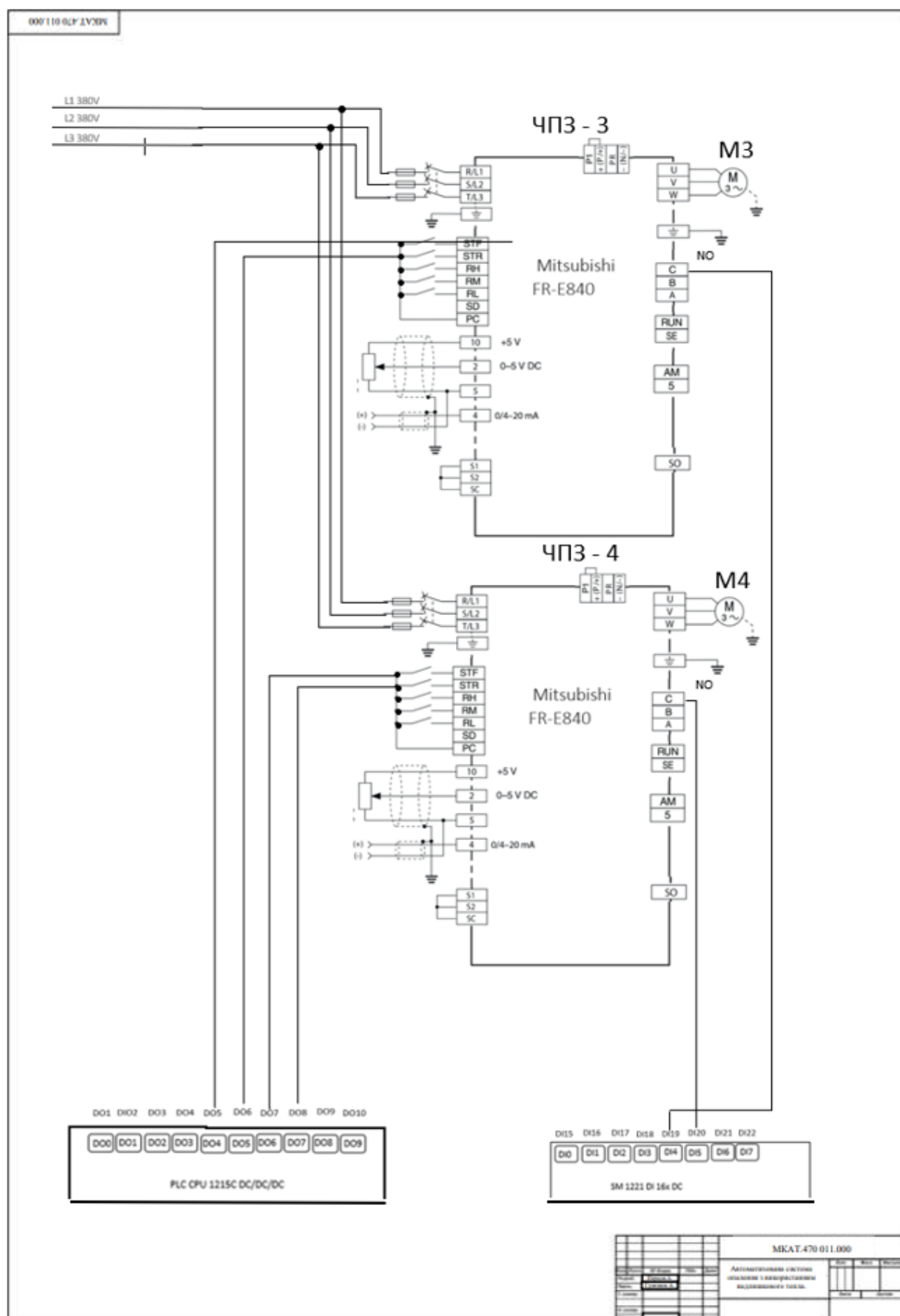
ДОДАТКИ

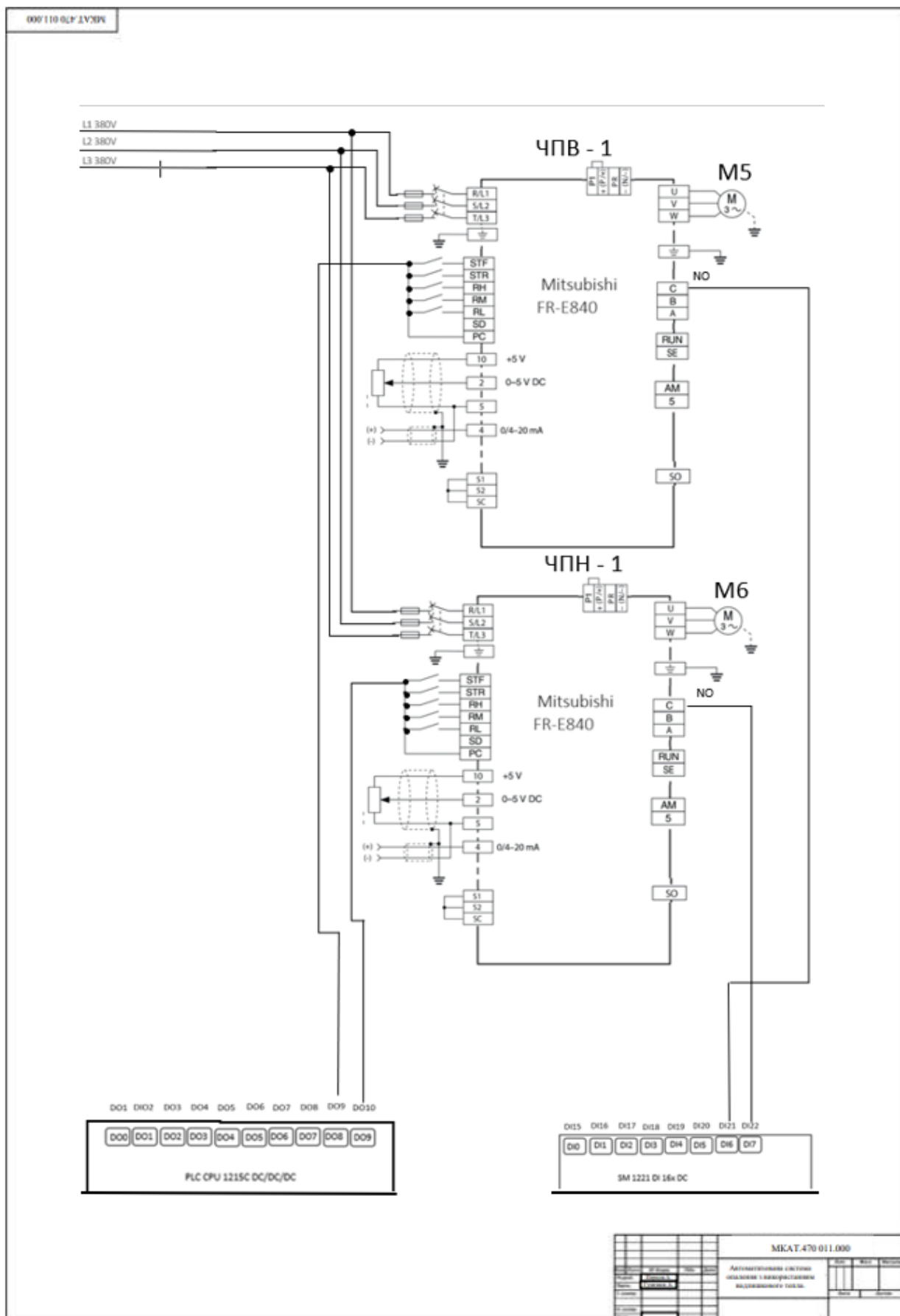


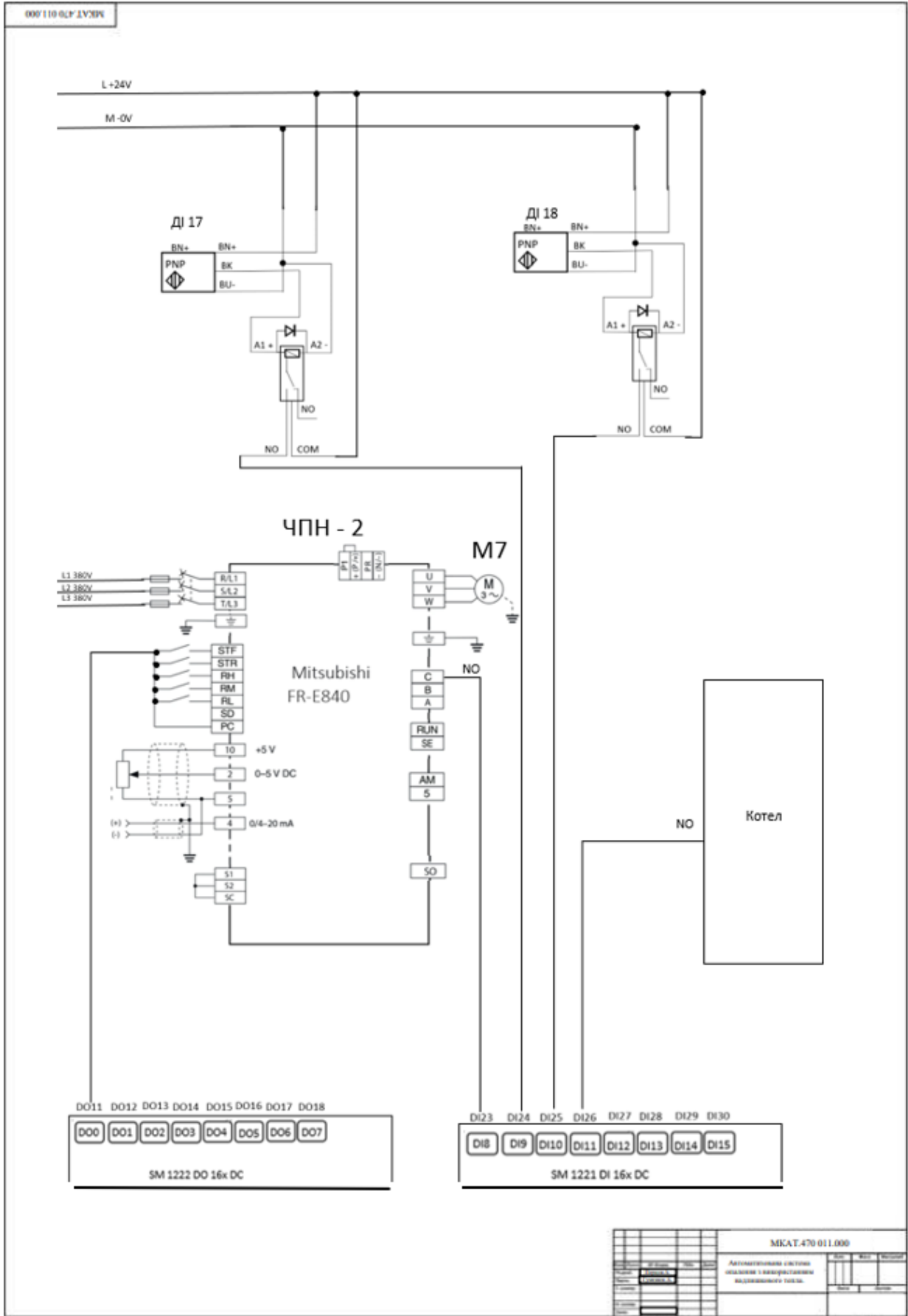


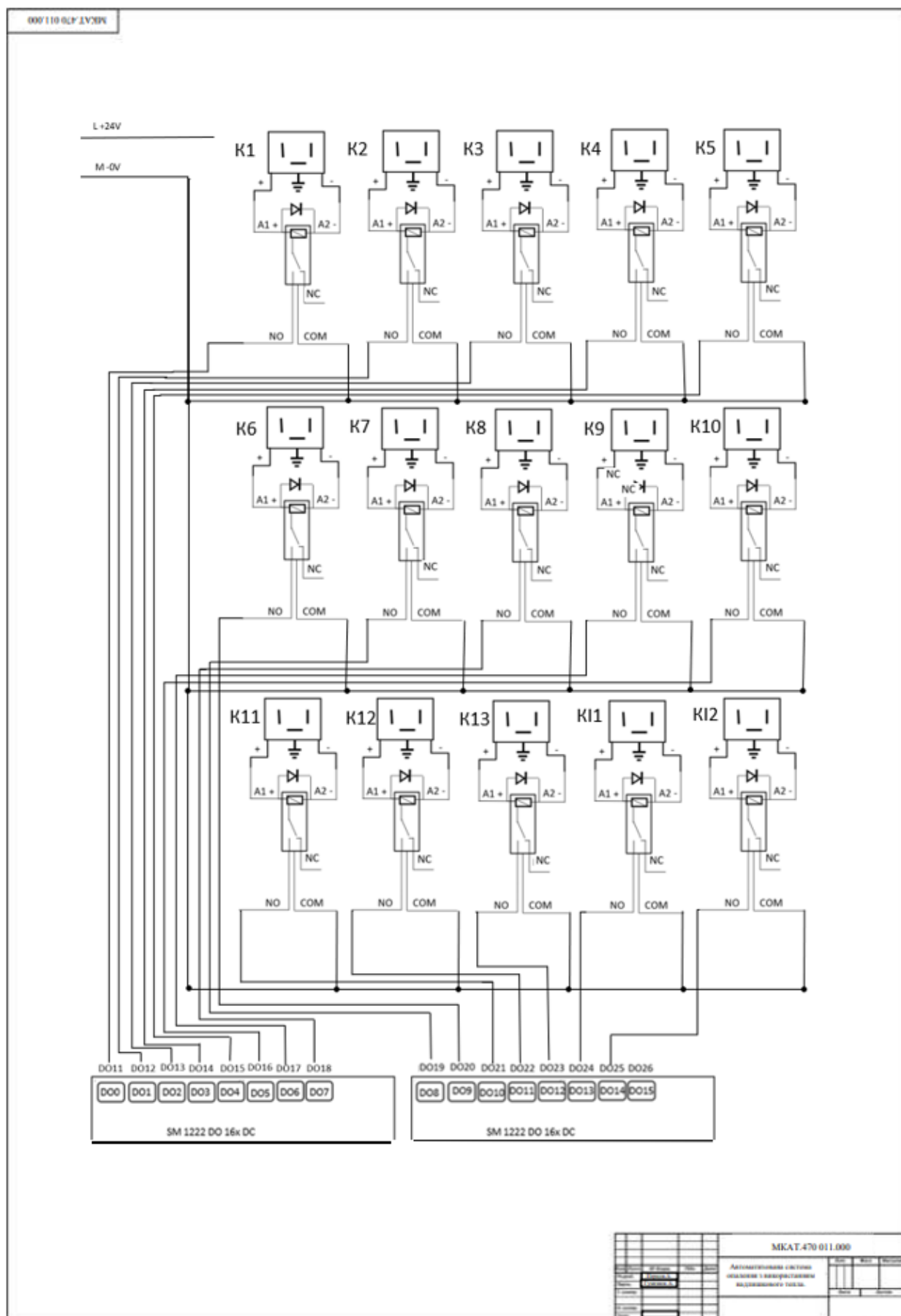


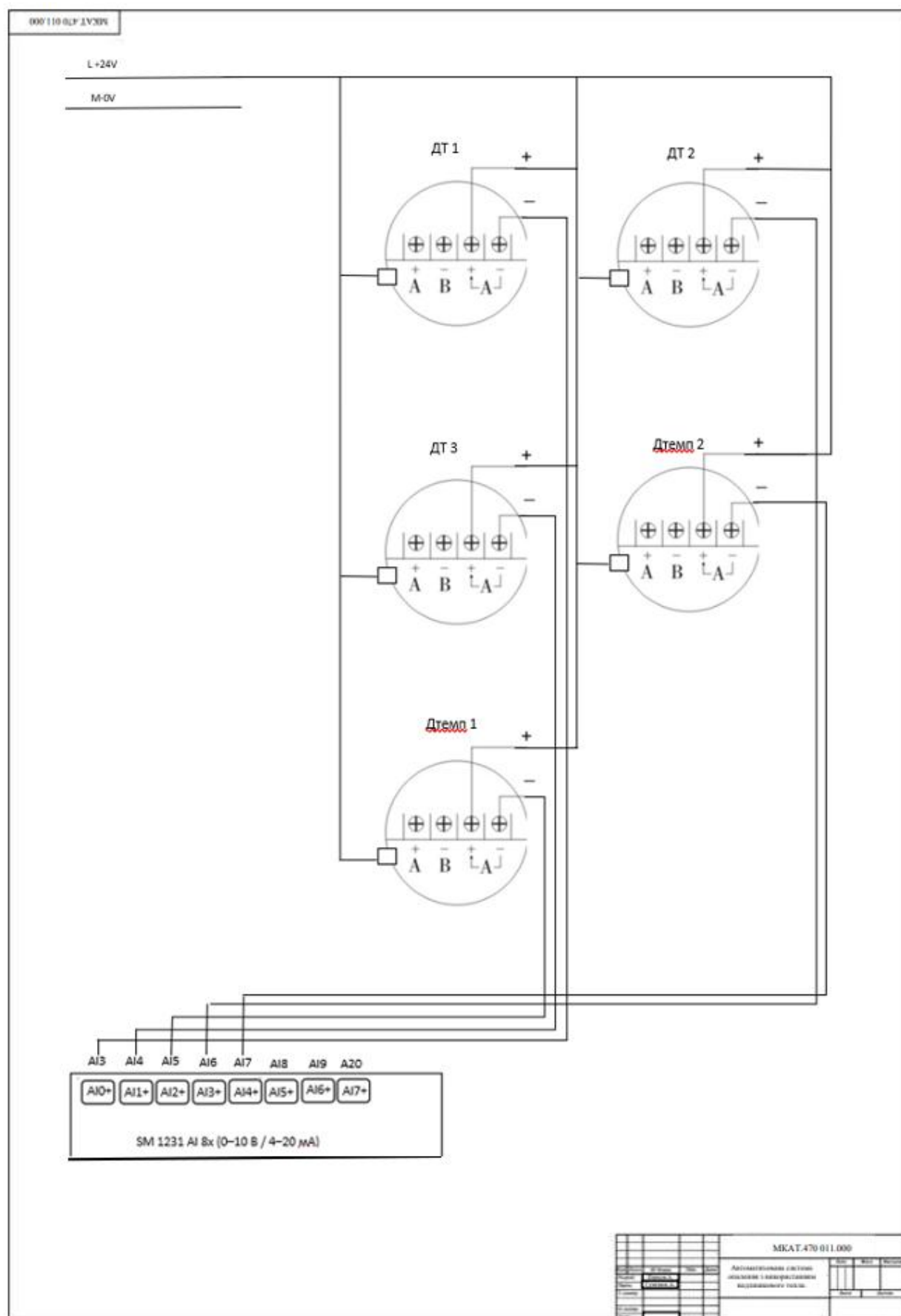


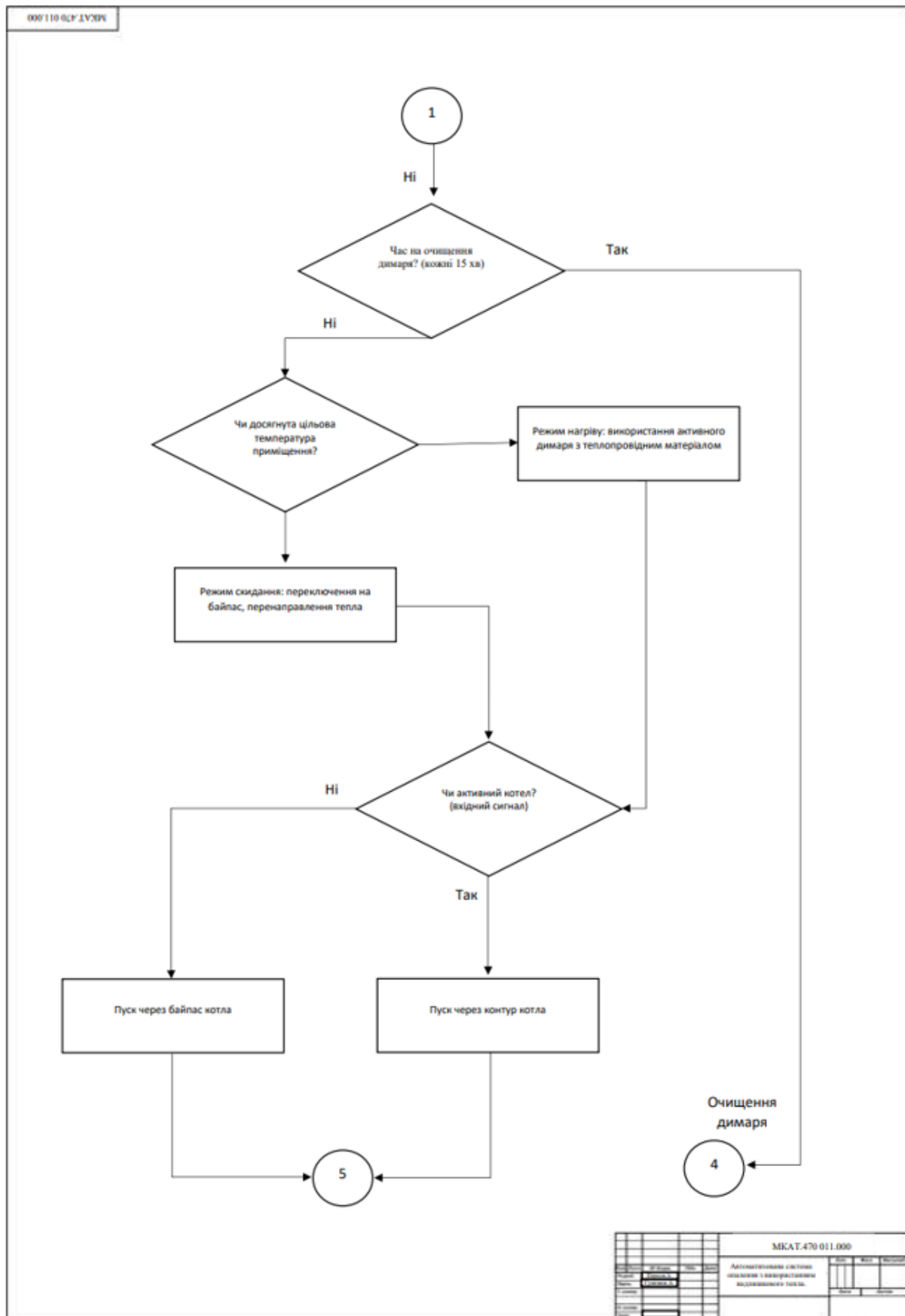


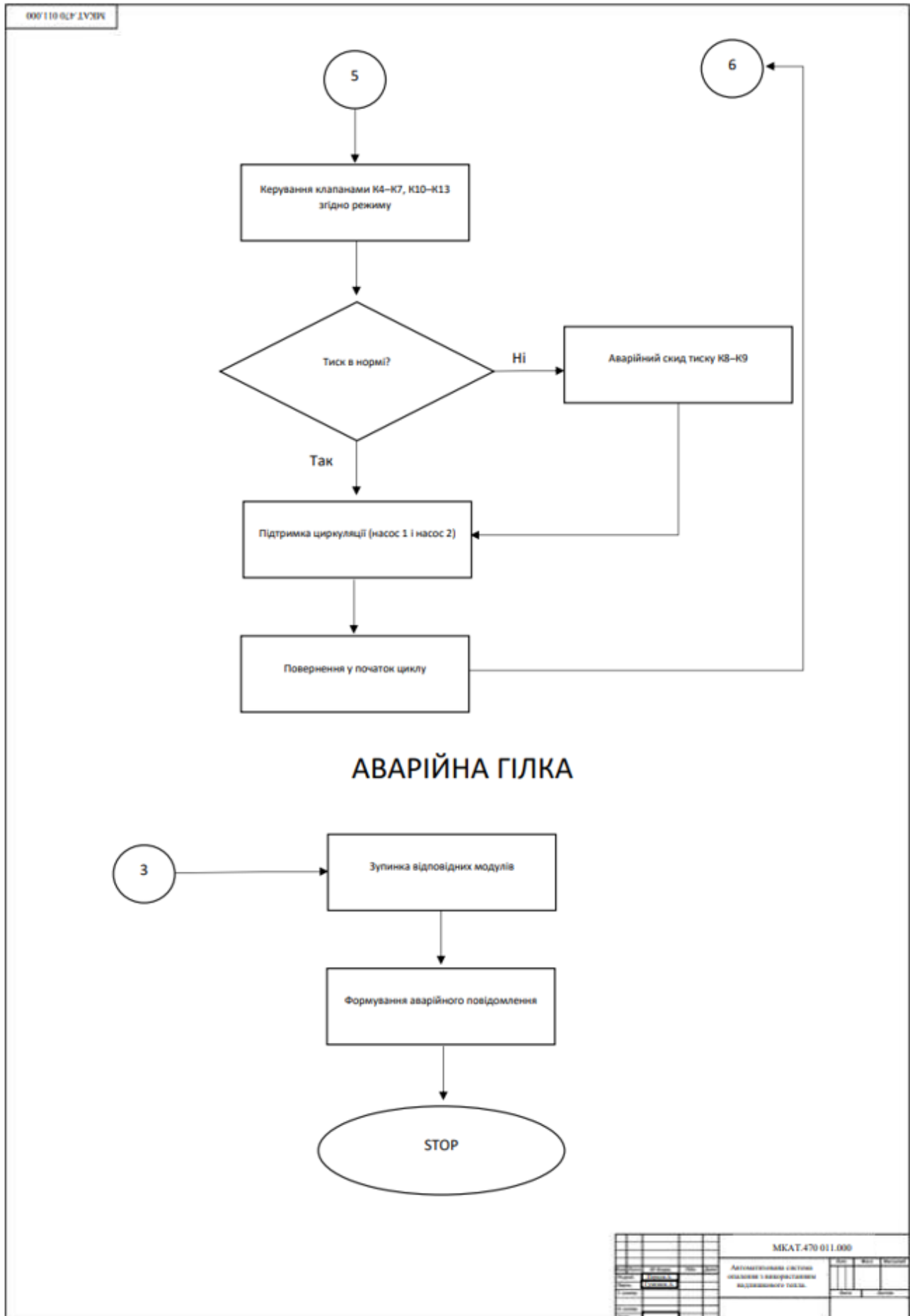


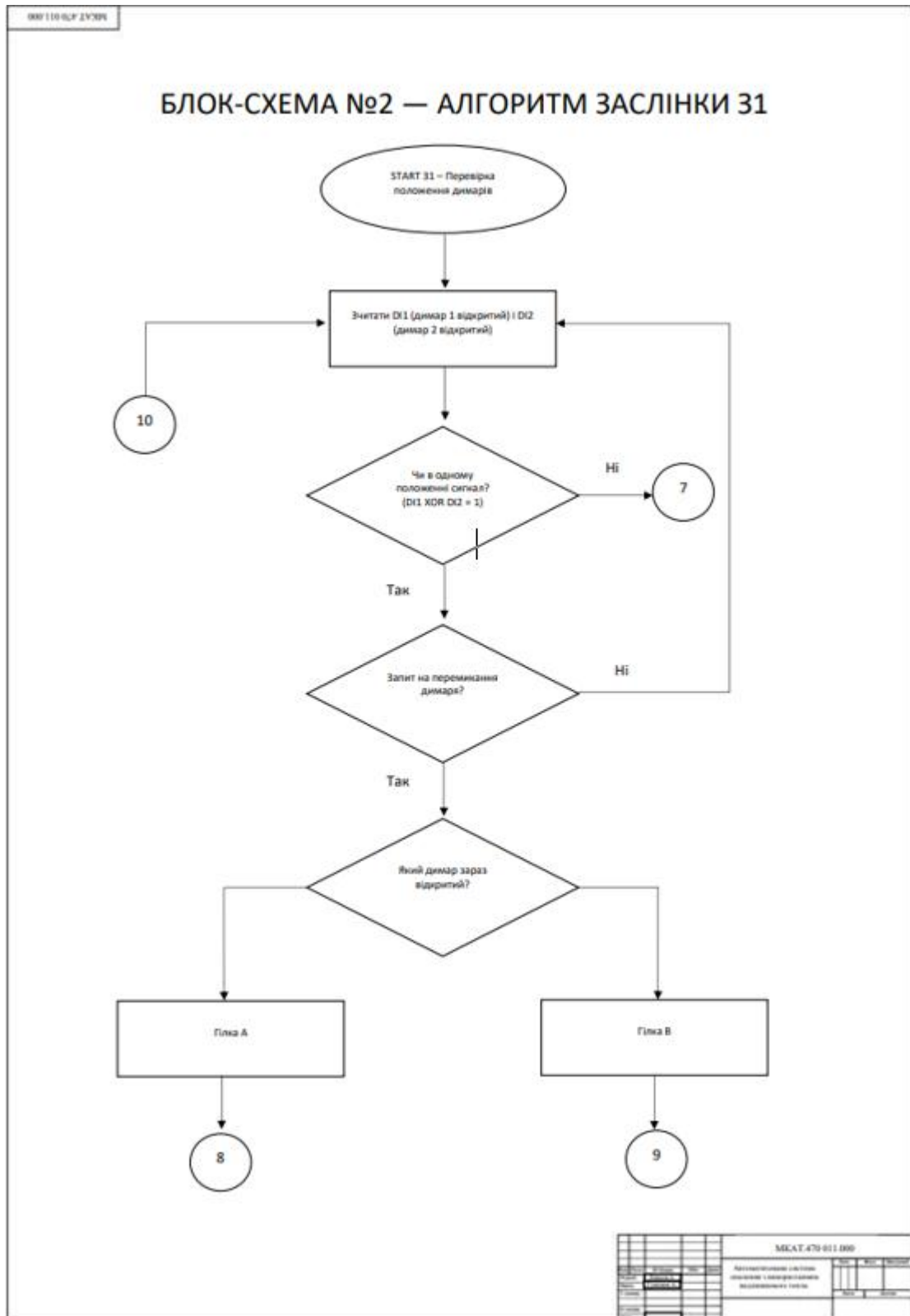


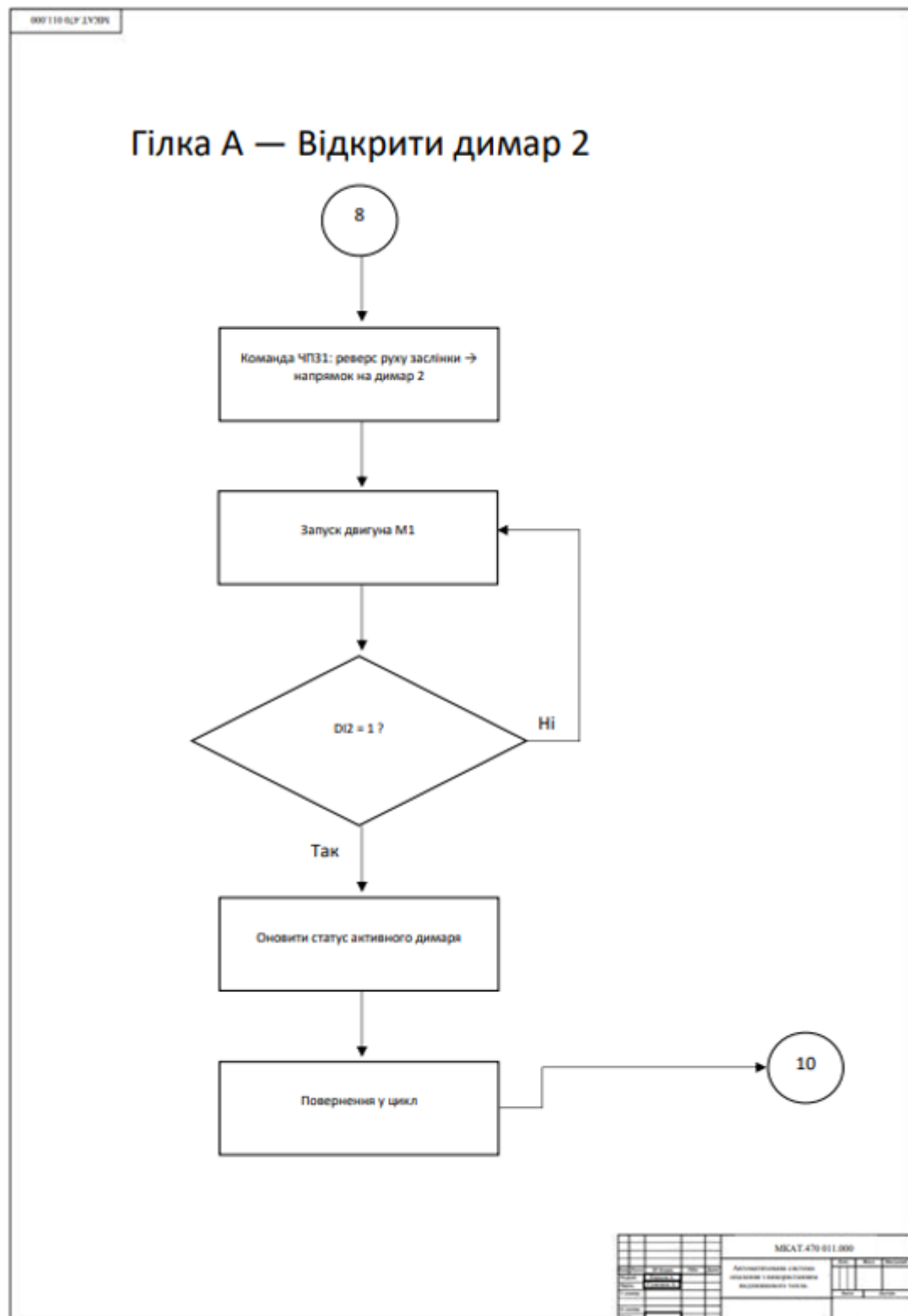


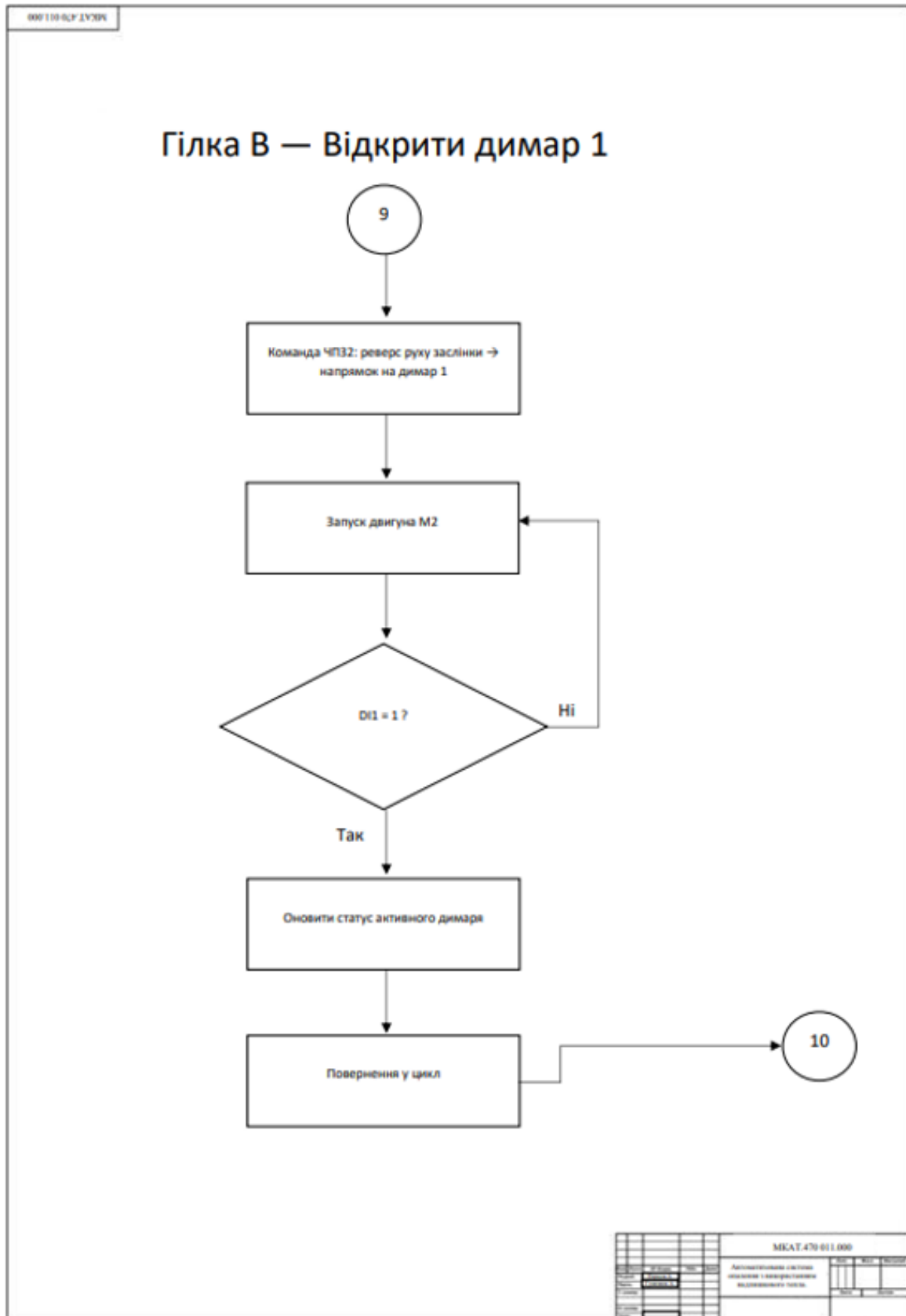


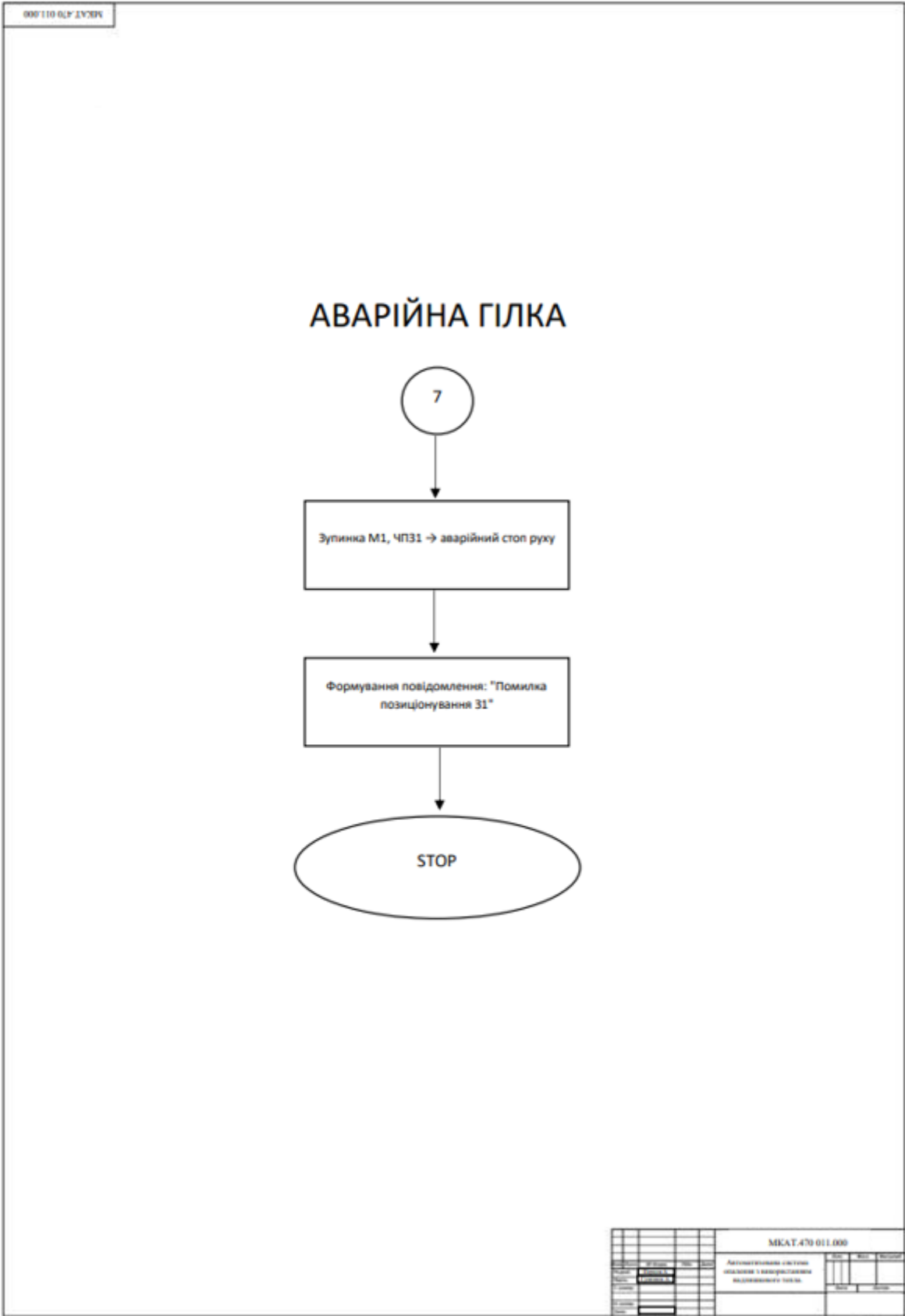


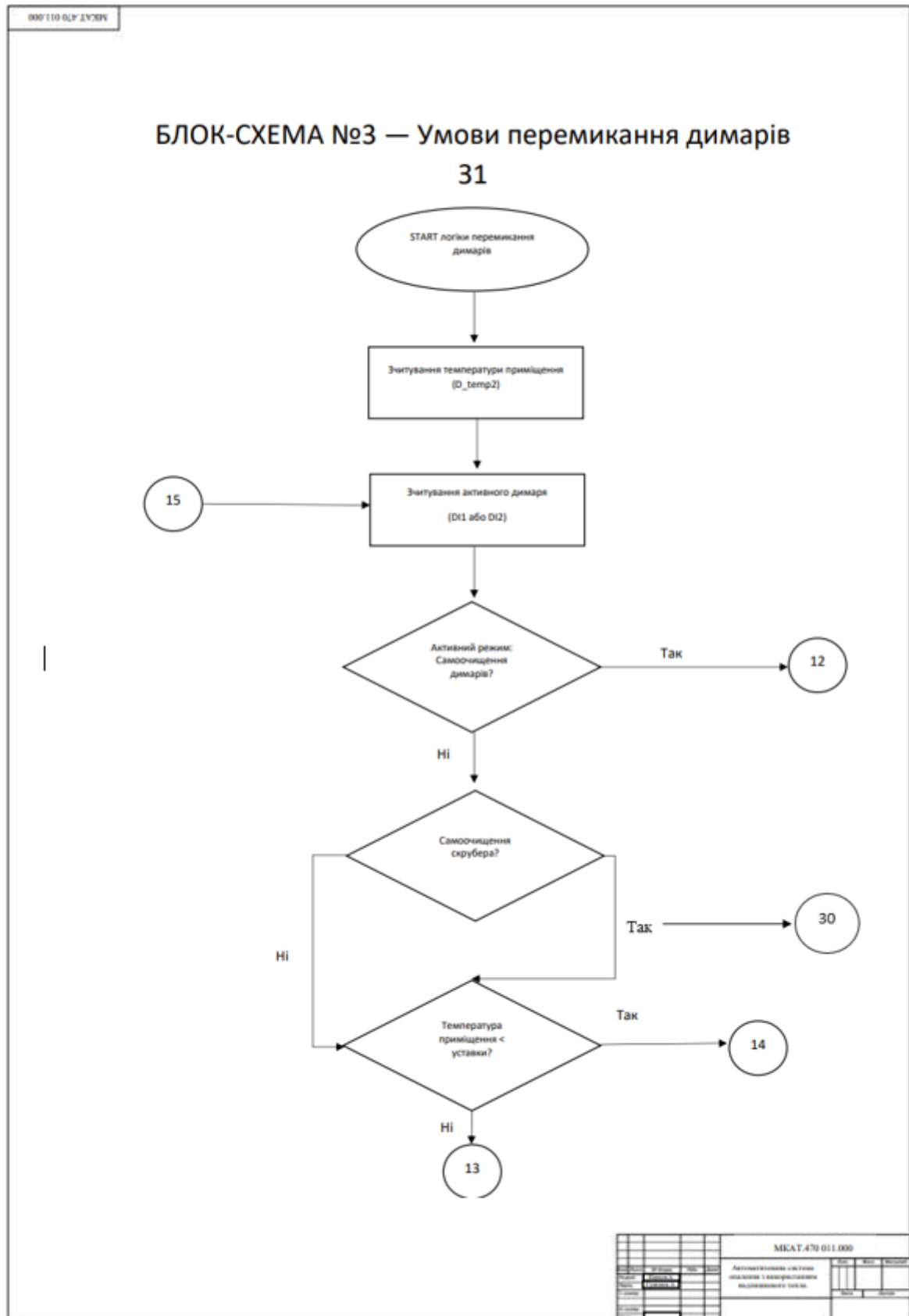


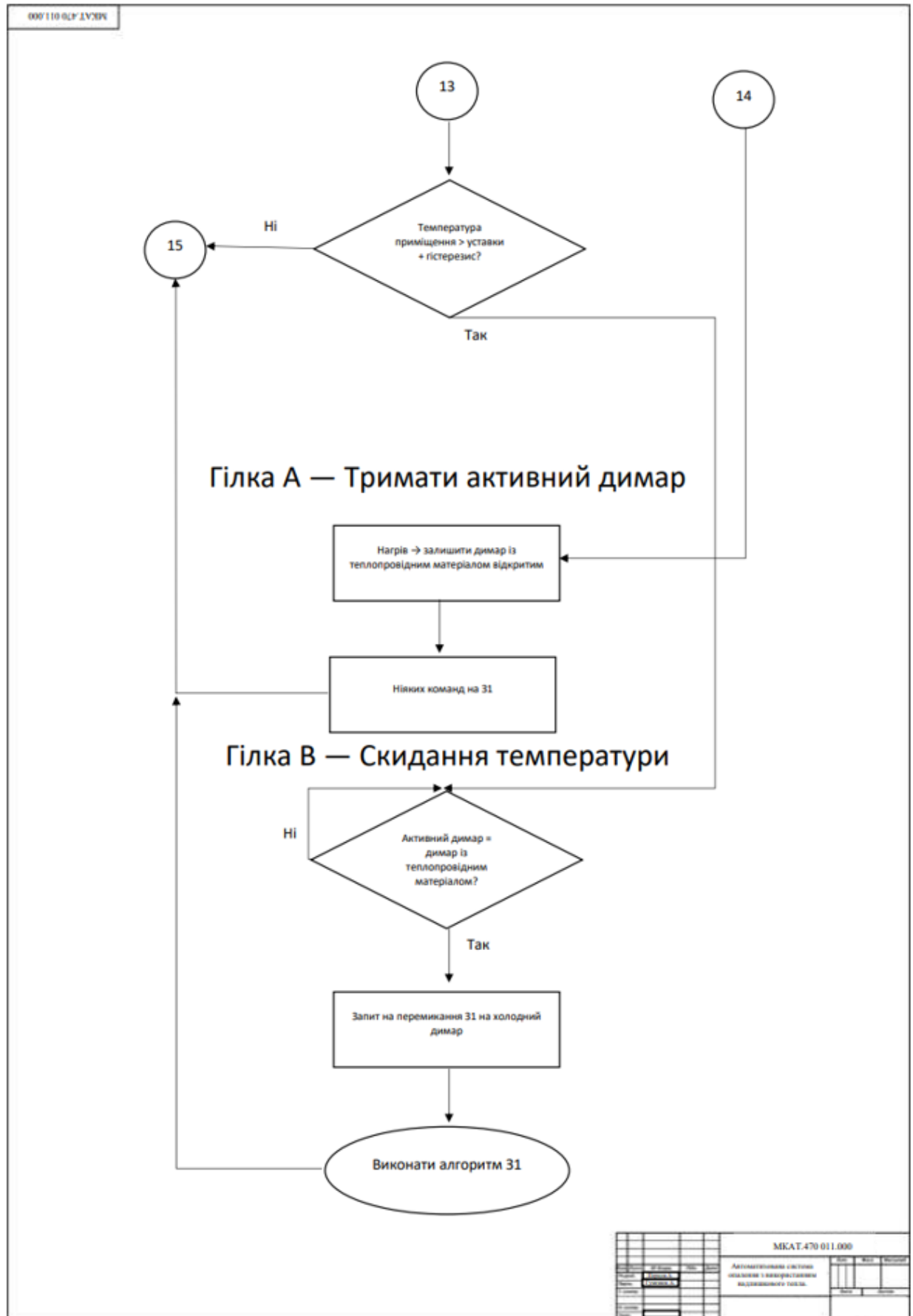




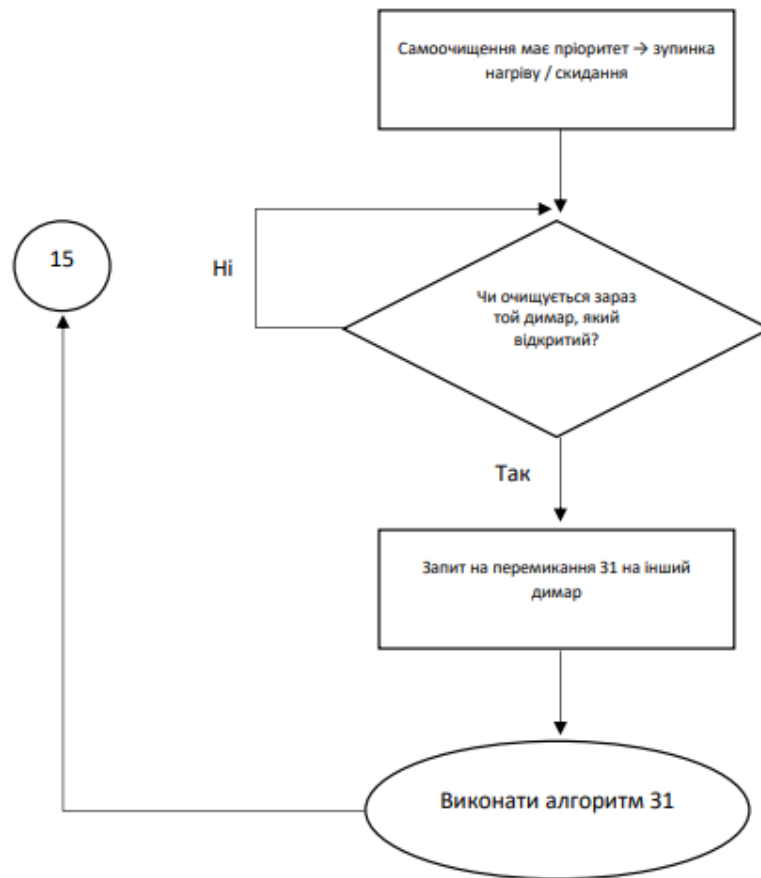








Гілка С — Примусове перемикання
(самоочищення димарів)



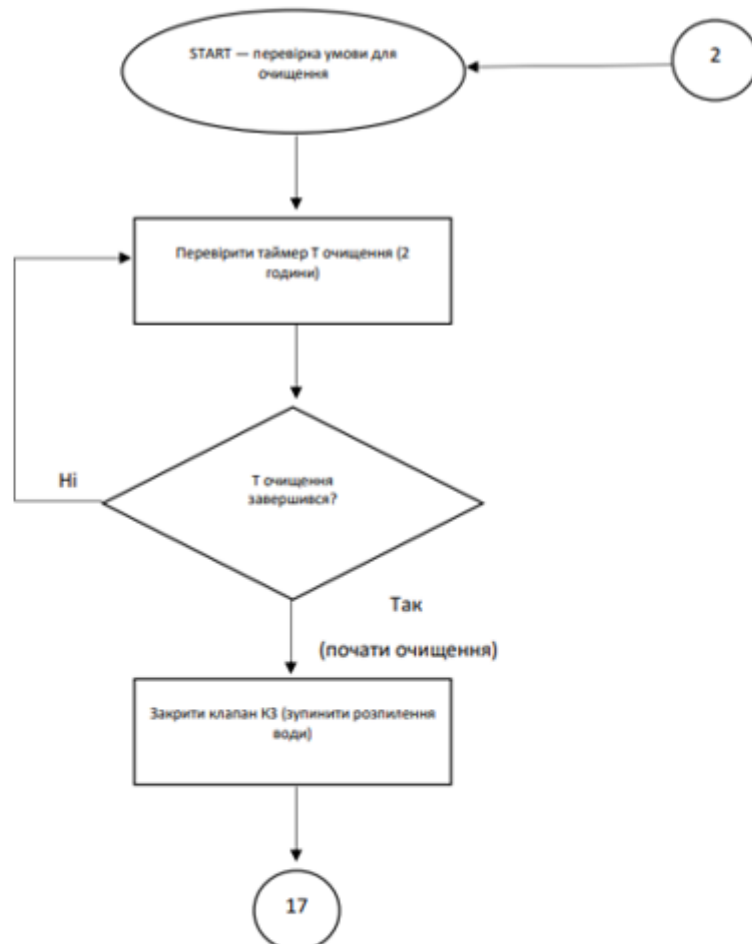
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

000110 8/27/2009

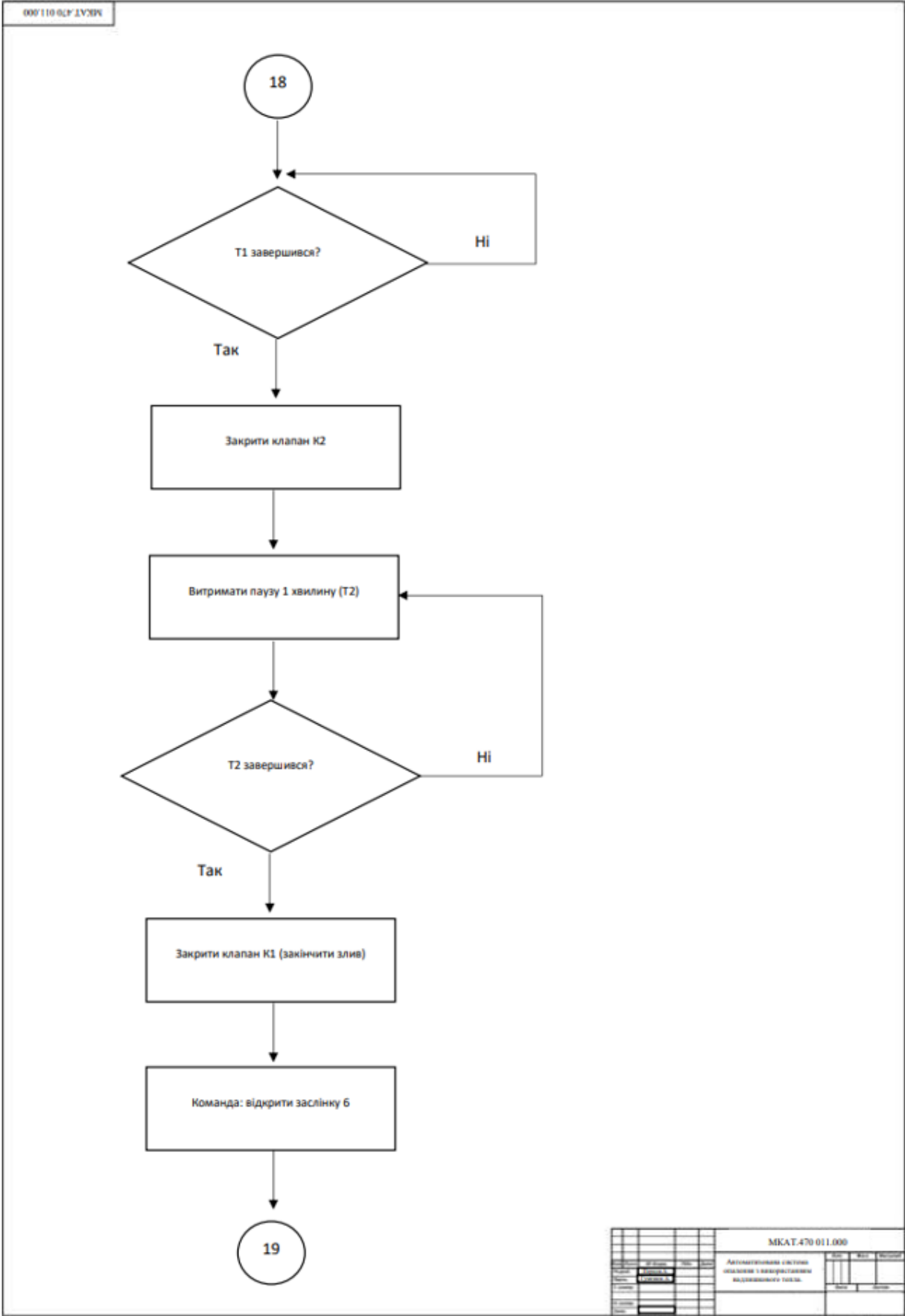
Гілка D — Під час очищення скрубера

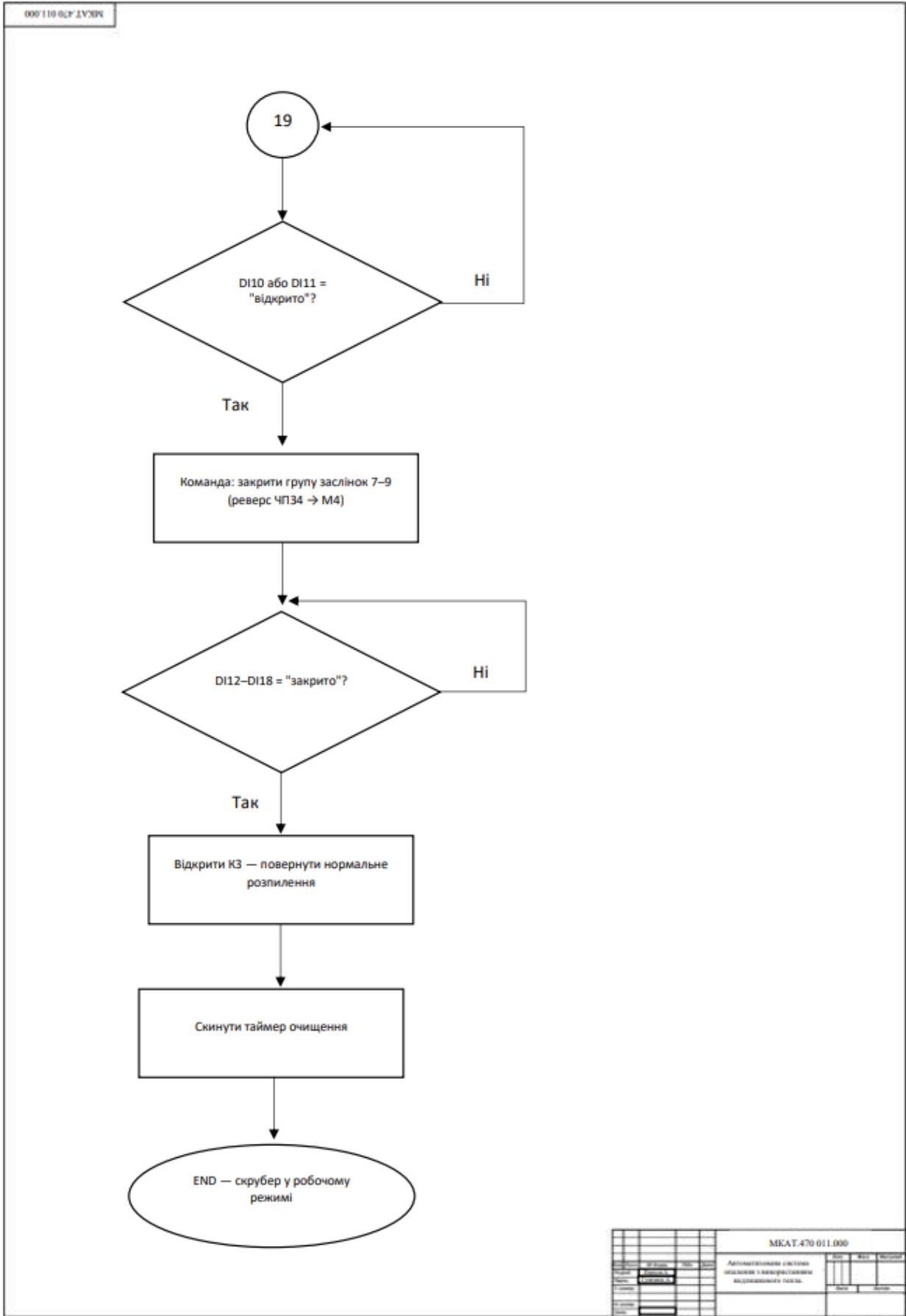


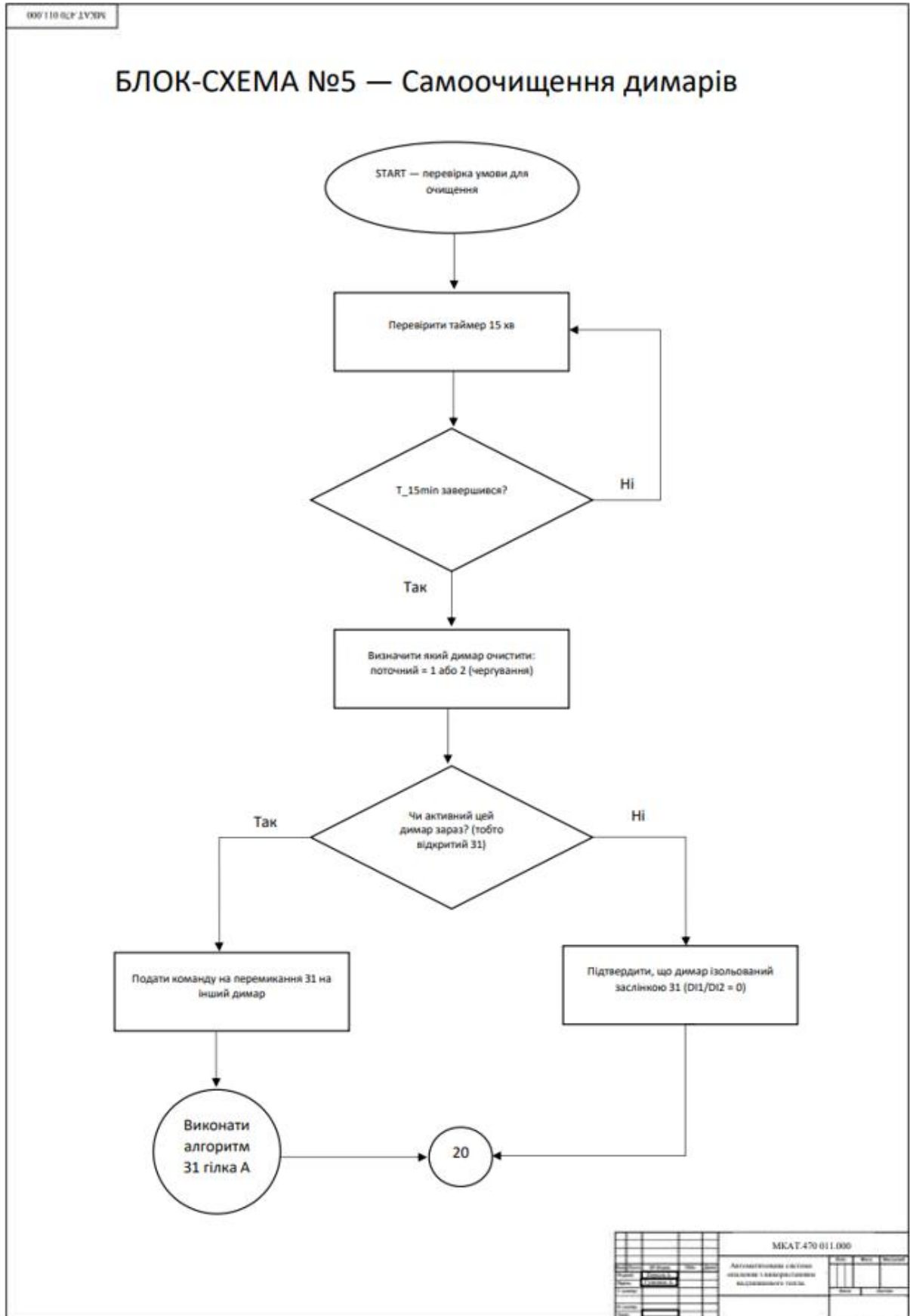
БЛОК-СХЕМА №4 — Самоочищення вологого скрубера

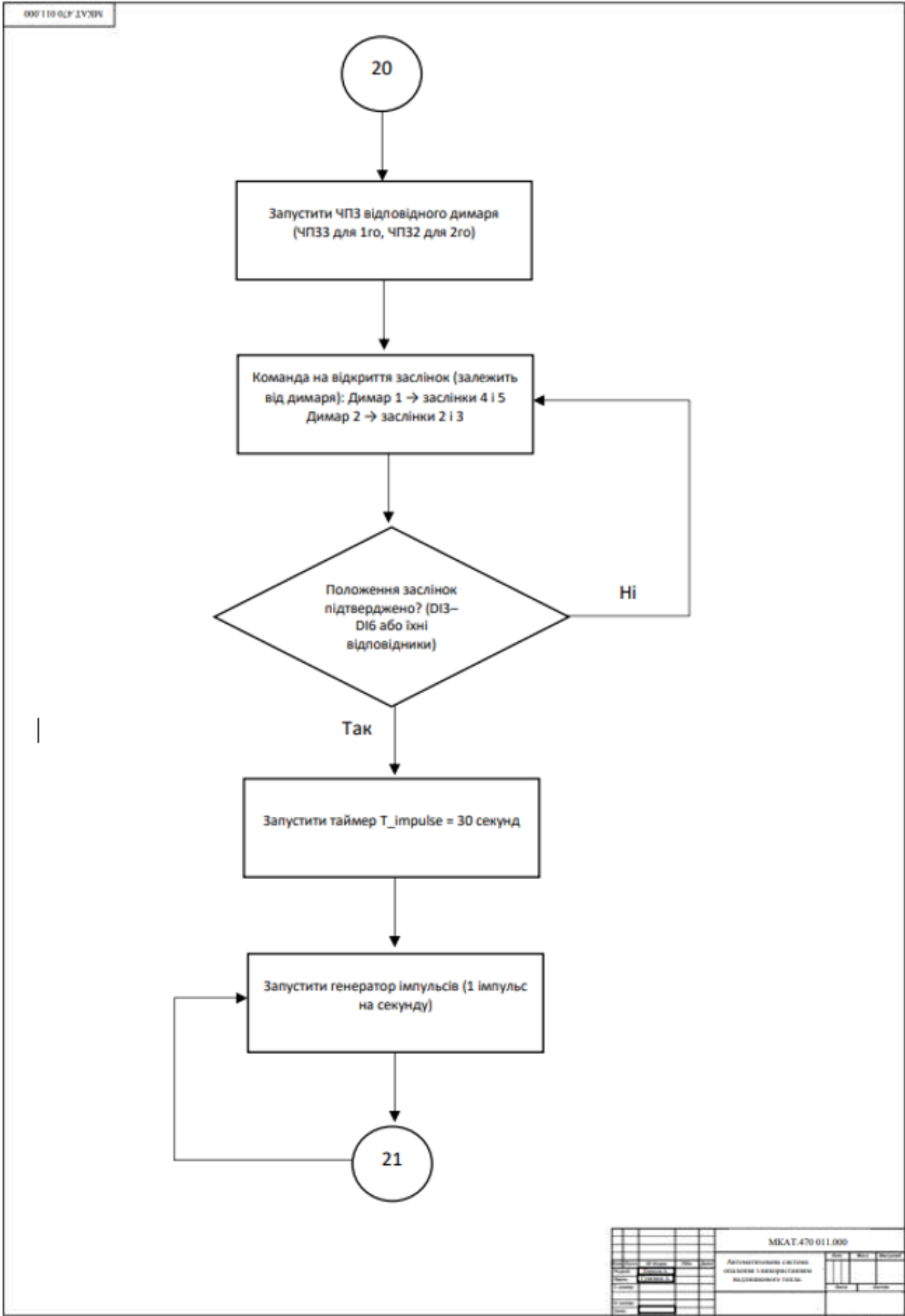


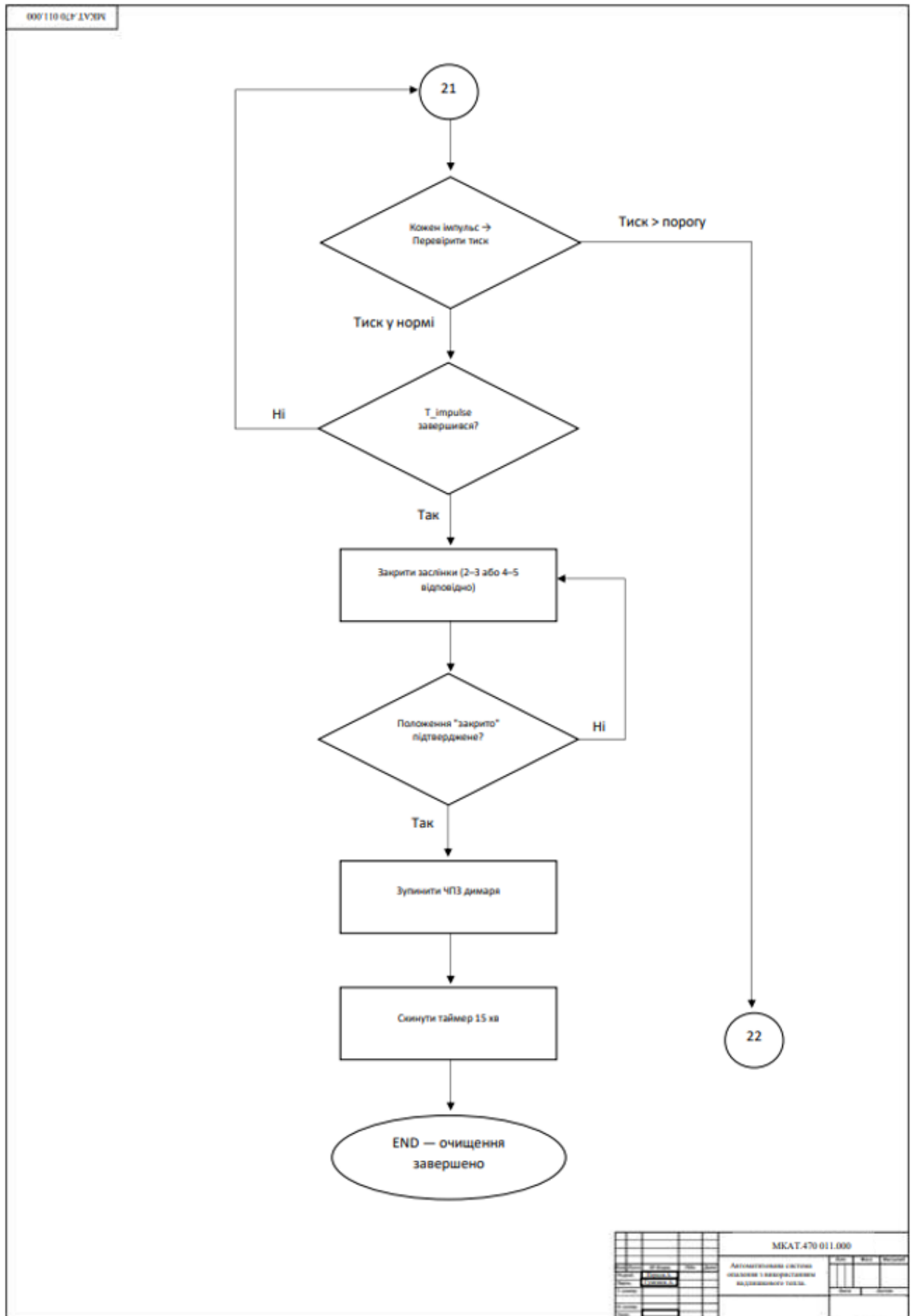
				МКАТ-470 011.000			
Вид	Модель	Вид	Модель	Вид	Модель	Вид	Модель
Автоматизована система очищення і вентиляції вологого скрубера							
Вид	Модель	Вид	Модель	Вид	Модель	Вид	Модель



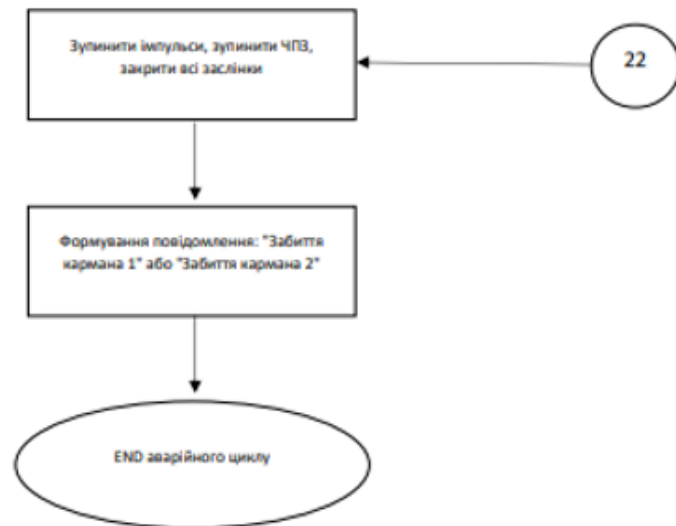








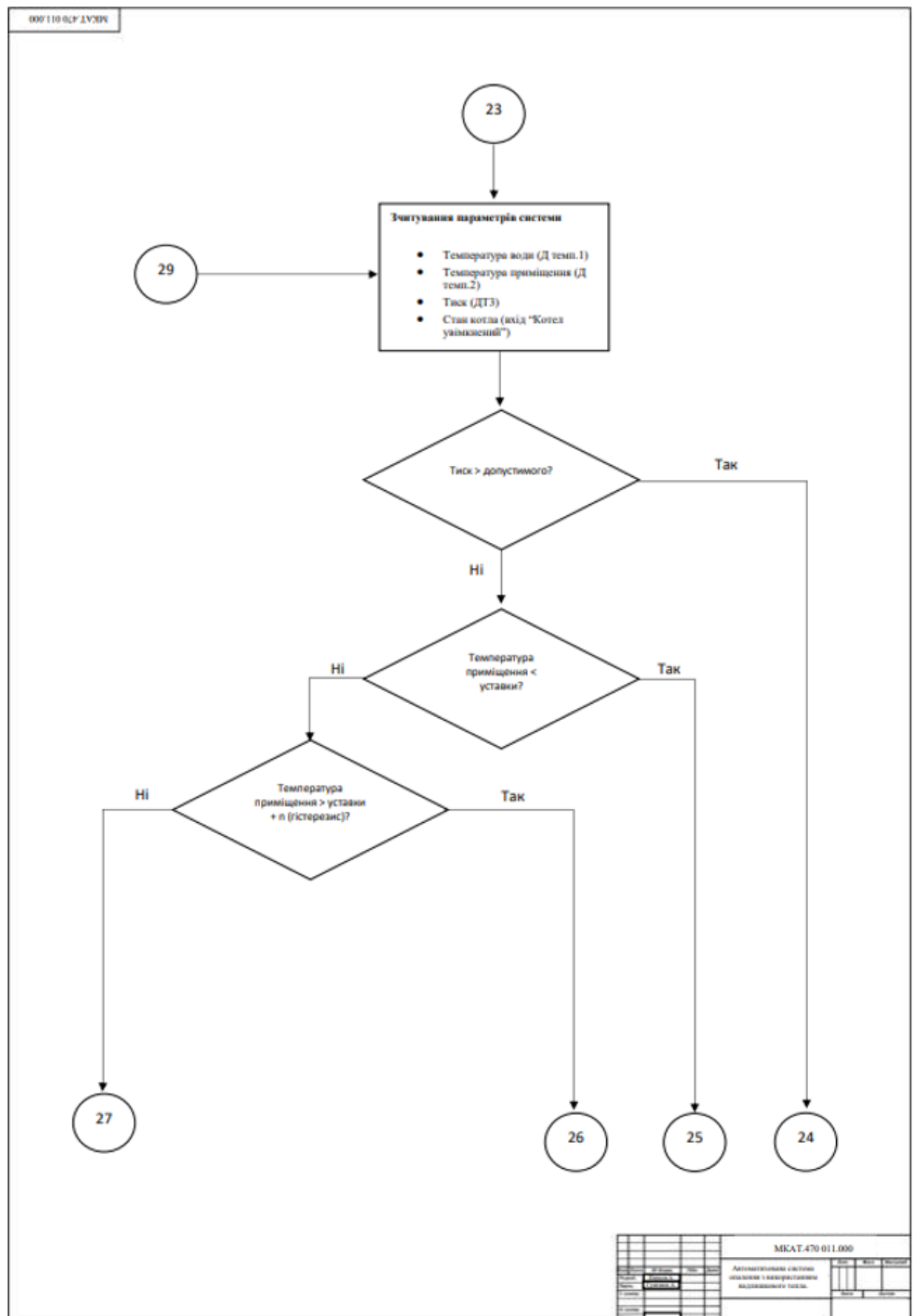
ГІЛКА АВАРІЇ — Забиття кармана



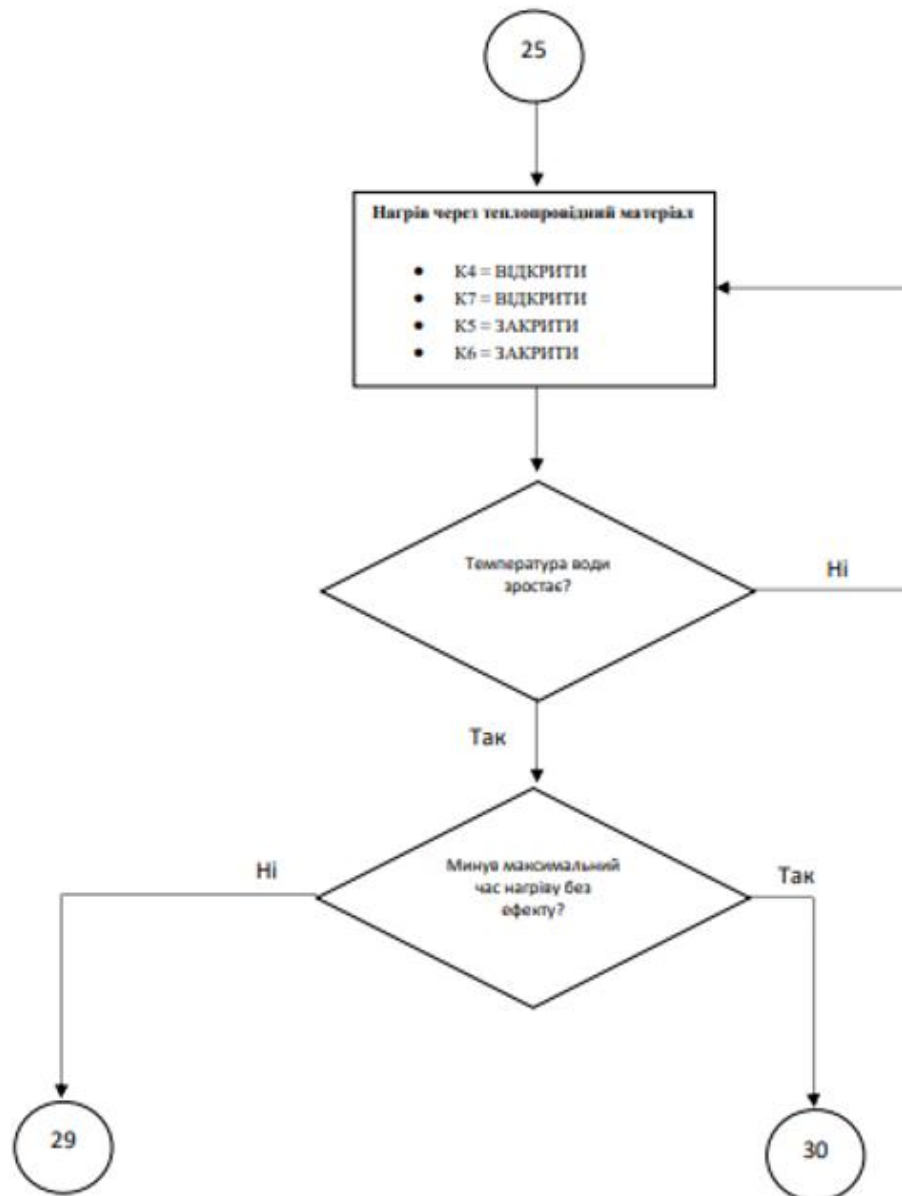
**БЛОК-СХЕМА №6 — ЦИРКУЛЯЦІЙНА СИСТЕМА
ОПАЛЕННЯ**



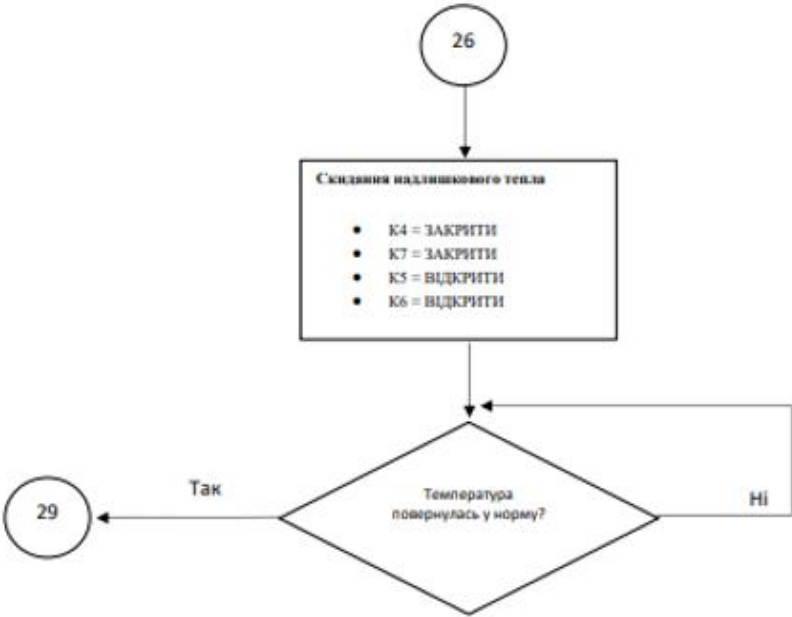
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



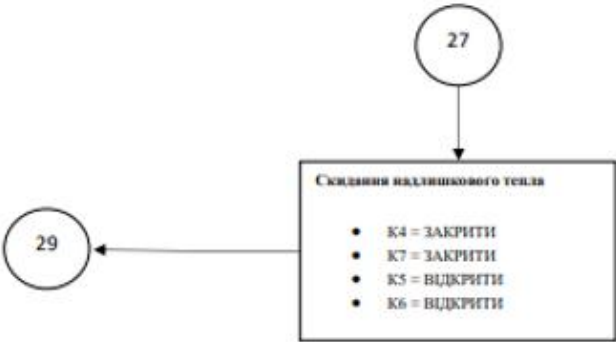
РЕЖИМ 1 — НАГРІВ ВІД ДИМАРЯ

[illegible]

РЕЖИМ 3 — СКИДАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

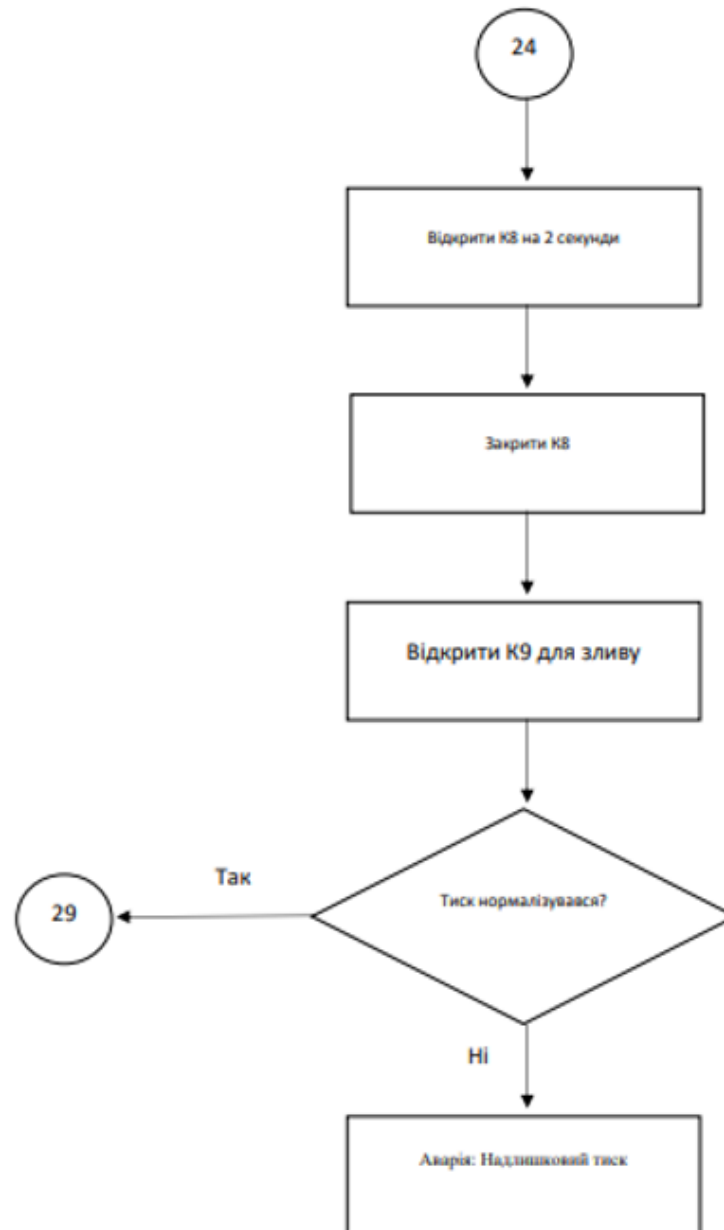


РЕЖИМ 4 — ПІДТРИМКА (СТАБІЛЬНИЙ СТАН)



МКАТ.470.011.000			
Автоматизована система управління тепловою енергією			
№	Вид	Вид	Вид
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20
21	22	23	24
25	26	27	28
29	30	31	32
33	34	35	36
37	38	39	40
41	42	43	44
45	46	47	48
49	50	51	52
53	54	55	56
57	58	59	60
61	62	63	64
65	66	67	68
69	70	71	72
73	74	75	76
77	78	79	80
81	82	83	84
85	86	87	88
89	90	91	92
93	94	95	96
97	98	99	100

АВАРІЙНИЙ СКИД ТИСКУ

[illegible]