

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

МИХАЛЬЧУК Максим Віталійович

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ
ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ МЕТОДОМ
ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПІРОЛІЗУ. /CONTROL SYSTEM FOR THE
PROCESS OF PROCESSING SOLID HOUSEHOLD WASTE USING HIGH-
TEMPERATURE PYROLYSIS

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Кваліфікаційна робота
здобувача першого (бакалаврського) рівня освіти

Виконав: студент групи АКІТ-41
М.В. Михальчук

Науковий керівник:
к.т.н., доцент А. І. Сегін

Випускню кваліфікаційну роботу
допущено до захисту:
" ____ " _____ 2026 р.

Завідувач кафедри СКС
_____ А. І. Сегін

Тернопіль 2026

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"
спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:

зав. кафедри СКС

А. І. Сегін

" 01 " грудня 2025р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Михальчуку Максиму Віталійовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Система автоматизованого управління процесом переробки твердих побутових відходів методом високотемпературного піролізу. /Control system for the process of processing solid household waste using high-temperature pyrolysis.
керівник роботи к.т.н., доцент Сегін А.І.

затверджено наказом по університету від « 1 » грудня 2025 р. № 894

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

25 травня 2026р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Характеристики технологічного процесу переробки твердих побутових відходів методом високотемпературного піролізу.
2. Вимоги до системи автоматизованого управління процесом переробки твердих побутових відходів методом високотемпературного піролізу.
3. Вимоги до програмного забезпечення системи автоматизованого управління процесом переробки твердих побутових відходів.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Здійснити аналіз стану та методів переробки твердих побутових відходів в Україні та регіоні.
2. Розробити структурну та функціональну схему системи автоматизованого управління переробки твердих побутових відходів.
3. Розрахунок системи автоматичного регулювання температури в печі реакторі.
4. Розробка програмного забезпечення САУ переробки ТПВ.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Технологічна схема процесу переробки ТПВ методом піролізу.
2. Функціональна схема процесу переробки ТПВ методом піролізу.
3. Структурна схема системи регулювання температури.
4. Структурна схема комплексу технічних засобів.
5. Блок-схема алгоритму програми керування процесом переробки твердих побутових відходів.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Сегін А. І.		
2	Сегін А. І.		
3	Сегін А. І.		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	1 Аналітичний огляд сучасного стану проблеми утилізації твердих відходів	01.12.2025р. – 15.01.2026р.	виконано
2	2. Розроблення алгоритмічного та програмного забезпечення у середовищі CODESYS	16.01. 2026р.– 15.03.2026р.	виконано
3	3. розроблення алгоритмічного та програмного забезпечення у середовищі codesys	16.03.2026р. – 30.04.2026р.	виконано
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2026 р. – 25.05.2026 р.	виконано

Студент

(підпис)

Михальчук М. В.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доц. Сегін А. І.

АНОТАЦІЯ

Михальчук М. В. Система автоматизованого управління процесом переробки твердих побутових відходів методом високотемпературного піролізу. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійною програмою – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль. 2026.

У кваліфікаційній роботі розроблено систему автоматизованого управління процесом переробки твердих побутових відходів методом піролізу. Проведено аналіз сучасного стану проблеми накопичення та утилізації твердих побутових відходів та обґрунтовано доцільність використання високотемпературного піролізу як ефективного та екологічно безпечного способу утилізації відходів. У роботі розроблено технологічну та функціональну схеми процесу переробки твердих побутових відходів та програмне забезпечення для керування технологічним процесом у середовищі CoDeSys.

ANNOTATION

Myhalchuk M.V. Control system for the process of processing solid household waste using high-temperature pyrolysis. – Manuscript.

Research for obtaining a bachelor's degree in the specialty 151 - Automation and computer-integrated technologies, educational and professional program - Automation and computer-integrated technologies. – Western Ukrainian National University, Ternopil. 2026.

In the qualification work, a system of automated control of the process of processing solid household waste by pyrolysis has been developed. The current state of the problem of accumulation and utilization of solid household waste has been analyzed and the feasibility of using high-temperature pyrolysis as an effective and environmentally safe method of waste disposal has been substantiated. The work has developed a technological and functional scheme of the process of processing solid household waste and software for controlling the technological process in the CoDeSys environment.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ.....	11
1.1 Сучасний стану проблеми утилізації твердих відходів.....	11
1.2 Огляд і аналіз сучасних методів переробки твердих побутових відходів.....	13
2 РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ.....	19
2. 1 Розроблення технологічної схеми процесу переробки ТПВ методом піролізу	19
2.2 Розроблення функціональної схеми автоматизованої системи управління процесом термічної обробки твердих побутових відходів.....	23
2.3 Розроблення структурної схеми регулювання температури в реакторі	25
2.4 Вибір програмно-технічного забезпечення.....	30
3. РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМІЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У СЕРЕДОВИЩІ CODESYS.....	33
3.1 Обґрунтування вибору програмного комплексу CoDeSys.....	33
3.2 Блок-схеми алгоритму роботи програми ПЛК автоматизованої системи переробки твердих побутових відходів.	33
3.3 Конфігурація обладнання в середовищі CoDeSys.....	36
3.4 Основна програма в CoDeSys роботи ПЛК	37
3.5 Розроблення підпрограми регулювання температури в реакторі	44

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат					
Розроб.		Михальчук М.В			Система автоматизованого управління очисткою		Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сегін А. І.						5	68
Консульт.		Сегін А.І..					ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н. Контр.		Заставний О.М.							
Затверд.		Сегін А. І.							

ВИСНОВКИ..... 57

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 59

ДОДАТКИ..... 67

ВСТУП

Актуальність теми. Стрімкий розвиток суспільства, зростання чисельності населення та підвищення рівня споживання ресурсів призводять до постійного збільшення кількості твердих побутових відходів. У сучасних умовах проблема їх накопичення набуває глобального характеру, оскільки значні обсяги сміття спричиняють погіршення екологічного стану довкілля, забруднення водних ресурсів, ґрунтів і атмосфери. Традиційні підходи до поводження з відходами, зокрема їх захоронення на полігонах, не забезпечують належного рівня екологічної безпеки та ефективного використання вторинних ресурсів. Водночас відходи можуть розглядатися як важливе джерело енергії та сировини, що відкриває перспективи для їх повторного використання та переробки.

З огляду на обмеженість природних ресурсів і необхідність зниження антропогенного навантаження на довкілля, особливого значення набуває впровадження сучасних технологій переробки відходів. У багатьох країнах світу вже реалізуються підходи, спрямовані на мінімізацію обсягів захоронення та максимальне залучення відходів до повторного використання або отримання енергії. В Україні система поводження з твердими побутовими відходами потребує суттєвого вдосконалення, оскільки існуюча інфраструктура є застарілою та не відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки. У зв'язку з цим актуальним є створення нових підприємств з переробки відходів та впровадження ефективних технологічних рішень.

Одним із перспективних напрямів є використання методу піролізу, який дозволяє переробляти відходи з отриманням корисних продуктів, таких як синтез-газ і рідке паливо. Однак реалізація подібних технологій потребує застосування сучасних систем автоматизованого управління, здатних забезпечити стабільність технологічних процесів, точне підтримання режимних параметрів та підвищення ефективності роботи обладнання.

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

Автоматизація процесів переробки відходів дозволяє зменшити вплив людського фактора, оптимізувати витрати ресурсів і підвищити рівень екологічної безпеки виробництва. Саме тому розробка системи автоматизованого управління процесом переробки твердих побутових відходів є актуальним науково-технічним завданням.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи автоматизованого управління процесом переробки твердих побутових відходів методом піролізу з використанням сучасних технічних засобів і програмного забезпечення для забезпечення ефективного, безпечного та стабільного функціонування технологічного процесу.

Об'єктом дослідження є технологічний процес переробки твердих побутових відходів методом піролізу.

Предметом дослідження є система автоматизованого управління процесом переробки твердих побутових відходів, зокрема системи автоматичного регулювання температури, програмовані логічні контролери, датчики технологічних параметрів, виконавчі механізми та програмне забезпечення для керування і візуалізації процесу.

Методи дослідження базуються на застосуванні теоретичних положень автоматичного керування, аналізі існуючих технологій переробки відходів, порівняльному аналізі технічних засобів автоматизації, математичному моделюванні процесів і систем, а також програмній реалізації алгоритмів керування у спеціалізованих середовищах.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості впровадження розробленої системи автоматизованого управління на підприємствах з переробки твердих побутових відходів. Запропоновані рішення забезпечують підвищення ефективності технологічного процесу, стабілізацію його параметрів, зниження витрат ресурсів, покращення екологічних показників та зменшення впливу людського фактора. Результати роботи можуть бути використані при проєктуванні та модернізації сучасних

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

систем управління установками піролізної переробки відходів.

Апробація результатів роботи

М. Михальчук, В. Красій. Автоматична система регулювання температури в печі піролізної установки переробки твердих відходів. // Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» (АКІТ-2026), Тернопіль, 2026. С. 68-71

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ

1.1 Сучасний стану проблеми утилізації твердих відходів

З кожним роком збільшення чисельності населення безпосередньо впливає на обсяги споживання природних ресурсів. Використання продуктів харчування, промислових товарів, побутової хімії та інших матеріалів неминуче призводить до зростання кількості відходів. Наслідками цього є накопичення сміття на полігонах, забруднення водойм, ґрунтів і атмосферного повітря, що негативно впливає на довкілля.

На Україні ситуація у сфері утилізації твердих побутових відходів залишається складною. В загальному, на Україні діє система управління побутовими відходами [1], представлена на рисунку 1.1.

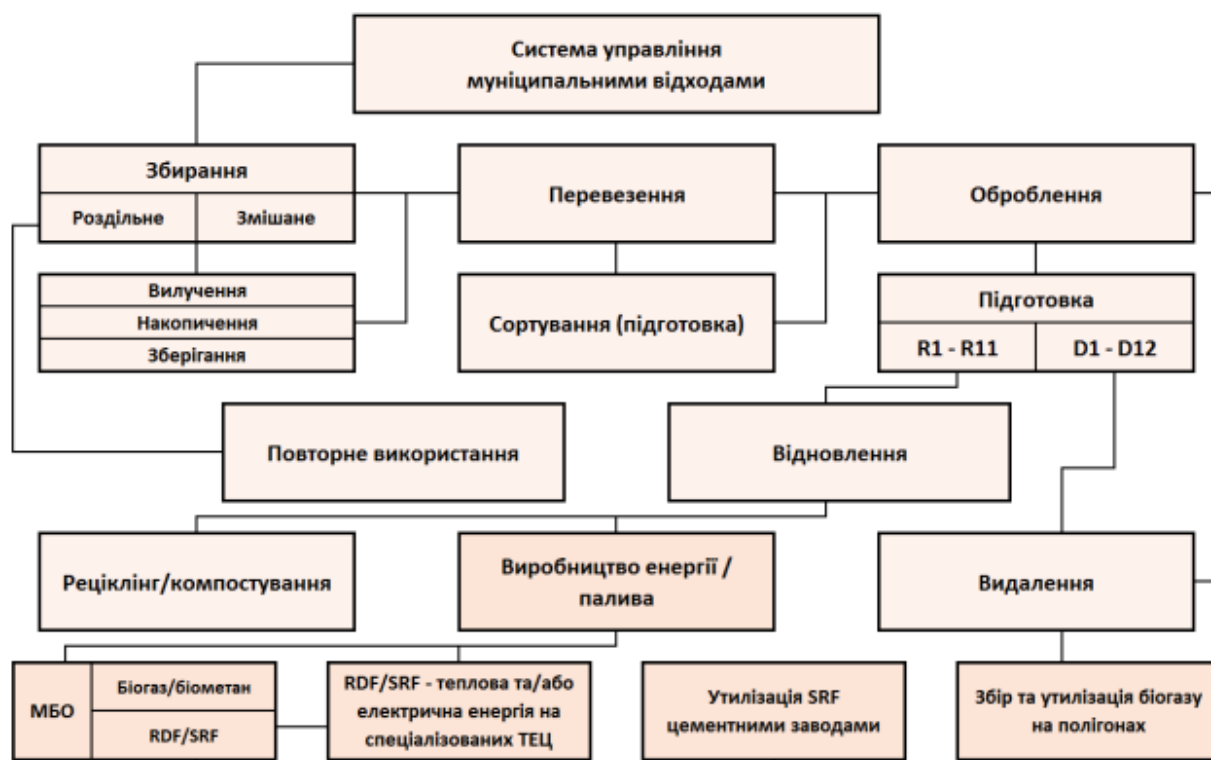


Рисунок 1.1 – Система управління муніципальними відходами в Україні.

D1-D12 – операції видалення відходів (Додаток 1, 2 до Закону України «Про управління відходами», R1-R11 – операції відновлення відходів [2].

Недосконалість системи їх знешкодження, зберігання та переробки спричиняє значне забруднення навколишнього середовища, нераціональне використання природних ресурсів і створює серйозну загрозу для здоров'я населення та екологічної ситуації в довкіллі.

Для кожного регіону країни одним із ключових завдань у сфері екологічної безпеки є вирішення проблем, пов'язаних із переробкою та утилізацією побутових відходів. Найбільші труднощі виникають через складний склад сміття та його розосереджені джерела утворення, особливо в житловому секторі [3-4].

Обсяги сміття постійно зростають, тоді як можливості для їх захоронення поступово зменшуються [5-6].

Особливо складним завданням для органів місцевого самоврядування є забезпечення санітарної очистки великих міст. Своєчасне вивезення та безпечна утилізація відходів безпосередньо впливають на екологічний стан територій і рівень життя населення.

Наприклад, у місті Тернополі [7] щорічно утворюються сотні тисяч тонн побутових відходів, які здебільшого розміщуються на полігонах або стихійних звалищах. Це пов'язано з недостатнім розвитком інфраструктури та браком сучасних підприємств з переробки. Загальні накопичення відходів у країні вже досягли критичних значень, що свідчить про необхідність негайних змін у системі управління відходами.

На сьогодні основним способом утилізації відходів залишається їх захоронення на полігонах[8-12]. Попри відносну простоту і низьку вартість, цей метод має суттєві недоліки. Кількість придатних територій для створення нових полігонів зменшується, відходи часто не проходять сортування, а їх природне розкладання відбувається надзвичайно повільно або взагалі не відбувається. Більшість існуючих полігонів вже майже заповнені, що створює ризик виникнення серйозних екологічних і соціальних проблем у майбутньому.

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

Реформування системи поводження з відходами є складним завданням, яке залежить від багатьох факторів. На практиці вибір технологій часто визначається не екологічними, а економічними міркуваннями. У результаті питання ефективної утилізації відходів нерідко відкладається, що призводить до накопичення проблем і перекладання їх вирішення на наступні покоління.

Існуюча система поводження з відходами негативно впливає на стан повітря, ґрунтів і підземних вод, знижуючи якість життя населення та не відповідаючи принципам сталого розвитку. Тому вона потребує суттєвої модернізації [9, 11].

Для вдосконалення цієї сфери необхідно проаналізувати сучасні методи переробки відходів і обрати найбільш ефективні технології, які можуть бути покладені в основу автоматизованих систем управління.

1.2 Огляд і аналіз сучасних методів переробки твердих побутових відходів

У сучасному світі активно розробляються та впроваджуються нові способи переробки відходів [13]. Існують різні підходи: одні передбачають повне знищення відходів, інші — їх повторне використання, а деякі поєднують кілька технологій одночасно. Важливою вимогою до таких методів є їх екологічна безпечність, тобто мінімальний вплив на навколишнє середовище [14].

Не менш важливим є економічний аспект. У сучасних умовах технології повинні бути не лише ефективними, а й економічно доцільними. Саме тому найбільш перспективними вважаються ті методи, які забезпечують як екологічний, так і фінансовий ефект.

Основні підходи до переробки відходів можна умовно поділити на кілька груп. До них належить захоронення на полігонах, природне біологічне

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

розкладання (компостування) та термічна обробка, яка включає спалювання і різні види піролізу.

Захоронення відходів є одним із найпоширеніших способів їх утилізації. Його застосовують для матеріалів, які не підлягають спалюванню або утворюють небезпечні речовини під час горіння.

Сучасні полігони [15] являють собою складні інженерні споруди, оснащені системами захисту навколишнього середовища (рисунк 1.2). Вони передбачають очищення фільтратів і газів, що утворюються під час розкладання відходів. У деяких країнах цей газ навіть використовується для виробництва енергії. Проте на Україні більшість полігонів не відповідає таким вимогам [16].

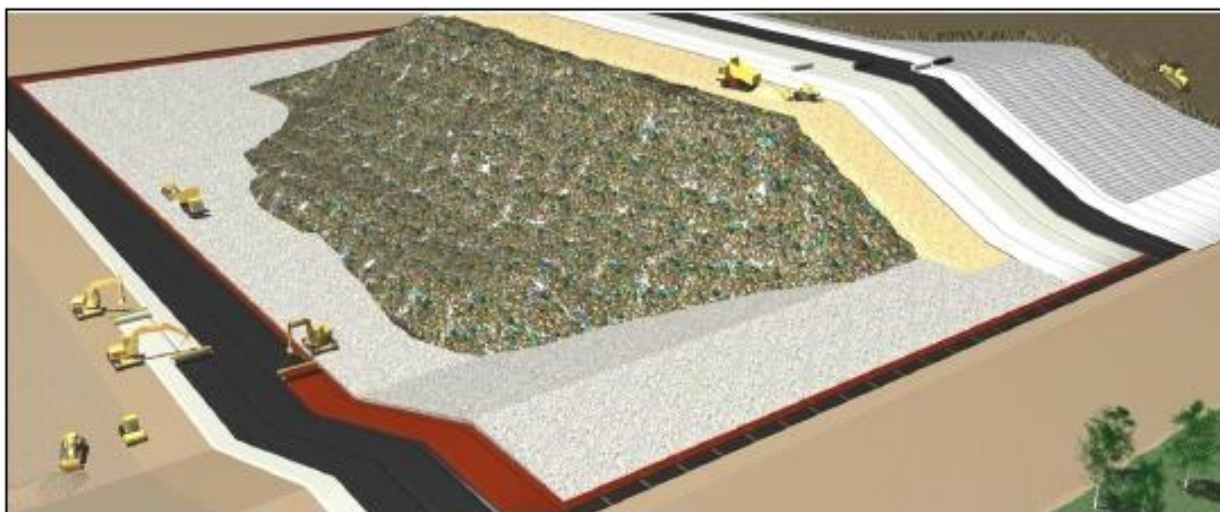


Рисунок 1.2 – Захоронення ТБО на полігоні.

Основним недоліком цього методу є тривалий період розкладання відходів [17]. Наприклад, пластик може розкладатися сотні років. Крім того, навіть сучасні системи захисту не здатні повністю усунути негативний вплив процесів гниття та бродіння, які забруднюють повітря і воду [18].

Компостування (рисунк 1.3) є природним способом переробки органічних відходів, що базується на їх біологічному розкладанні. Цей метод широко застосовується для переробки рослинних і харчових залишків.

В Україні та інших країнах компостування часто використовується на рівні приватних господарств, однак його можна реалізовувати і в промислових масштабах. У такому випадку створюються спеціалізовані підприємства, де відходи переробляються у компост, який може застосовуватися в сільському господарстві як добриво.



Рисунок 1.3 – Ділянка компостування твердих побутових відходів

Серед основних недоліків компостування слід відзначити його обмежену сферу застосування, оскільки переробці підлягають лише органічні відходи. Крім того, цей процес є досить тривалим, подібно до захоронення на полігонах. Тому найбільш ефективним є використання компостування у поєднанні з іншими методами, наприклад термічною обробкою, тоді як самотійна технологія воно не завжди є доцільним.

Для утилізації твердих побутових відходів широко застосовуються методи термічної обробки. Вони передбачають вплив високих температур на відходи з метою зменшення їх об'єму і маси, знешкодження небезпечних компонентів, а також отримання енергетичних ресурсів і інертних залишків, які можуть бути використані повторно. Схема процесу спалювання наведена на рисунку 1.4.

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

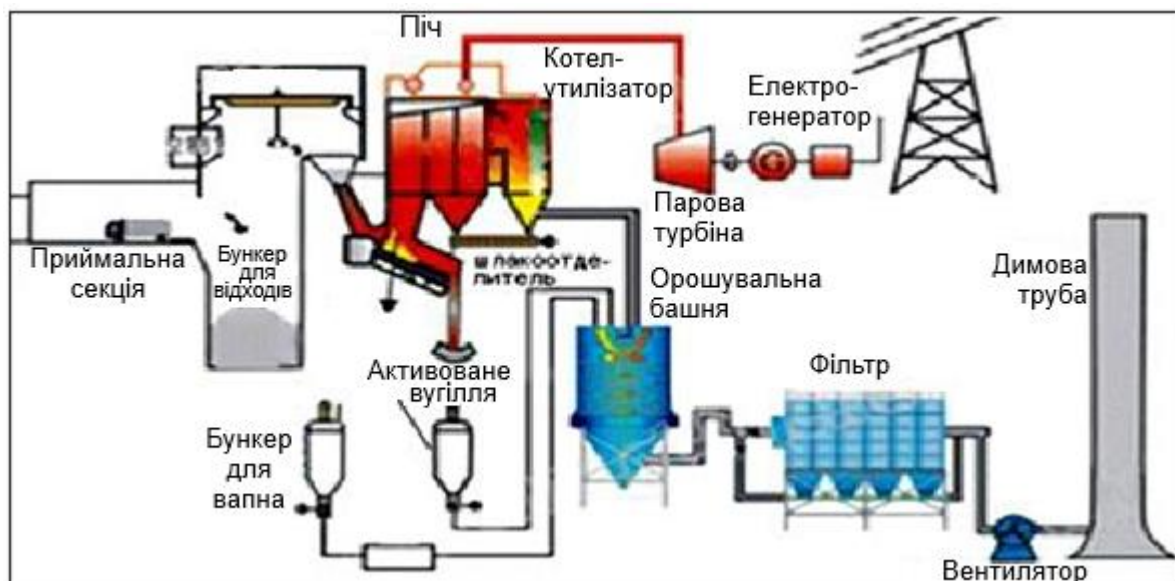


Рисунок 1.4 – Технологічна схема процесу спалювання ТПВ

Серед різних способів переробки відходів спалювання є одним із найбільш поширених. Це пояснюється тим, що технології добре відпрацьовані, обладнання доступне у серійному виробництві, має тривалий термін експлуатації та високий рівень автоматизації. Крім того, цей метод відносно економічний і не потребує значних часових витрат, на відміну від, наприклад, компостування.

Сучасний розвиток технологій у цій сфері спрямований на перехід від простого спалювання сміття до використання паливних фракцій, отриманих із відходів, що дозволяє не лише утилізувати сміття, а й виробляти електричну та теплову енергію.

Водночас цей метод має і суттєві недоліки. Під час спалювання утворюються шкідливі викиди, зокрема оксиди азоту, вуглецю, сірки та інші токсичні сполуки. Крім того, за відсутності належного сортування відходів утворюється зола, яка може містити небезпечні речовини та потребує подальшого захоронення. Також перед спалюванням необхідна попередня підготовка відходів, яка включає сортування, сушіння та подрібнення.

Загалом, попри переваги, цей метод також не є повністю досконалим.

Плазмова технологія переробки відходів базується на процесах газифікації або піролізу (рисунок 1.5). Її суть полягає у перетворенні органічної частини відходів у газоподібний продукт, який може використовуватися для виробництва теплової та електричної енергії.

У результаті такого процесу також утворюються тверді залишки у вигляді шлаку або інших неперероблюваних компонентів, які можуть бути використані або утилізовані.

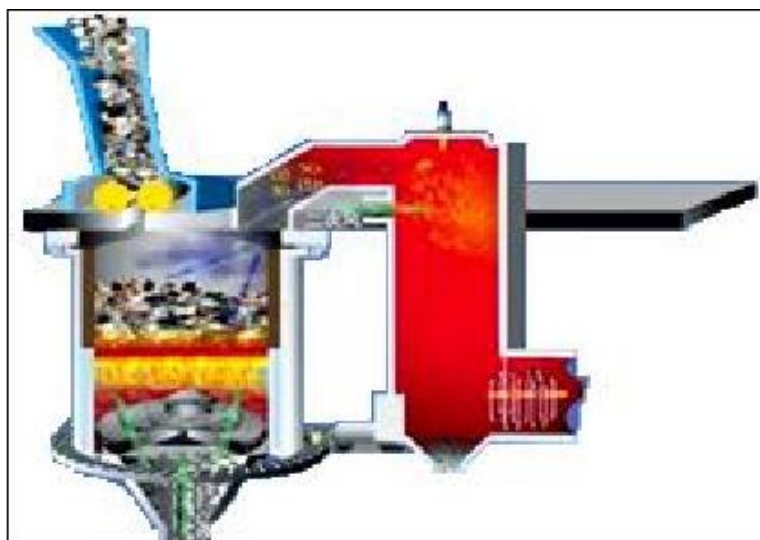


Рисунок 1.5 – Піч-реактор для піролізної переробки твердих побутових відходів

Піроліз твердих побутових відходів — це процес їх термічного розкладання, що відбувається без доступу кисню.

Залежно від температурного режиму розрізняють два основні види піролізу. При низькотемпературному режимі (приблизно 450–1000 °C) утворюється незначна кількість газу, зате збільшується вихід твердих залишків, смол і масел. У випадку високотемпературного піролізу (понад 1000 °C), навпаки, спостерігається максимальний вихід газоподібних продуктів і мінімальна кількість смолистих речовин.

До основних переваг піролізу належить ефективне знешкодження відходів, включаючи повне знищення патогенних мікроорганізмів, значне

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

зменшення об'єму відходів (у кілька разів), а також можливість використання їх енергетичного потенціалу.

Особливо ефективним є високотемпературний піроліз, який дозволяє екологічно безпечно переробляти різноманітні види відходів без попередньої підготовки, такої як сортування чи сушіння. Крім того, ця технологія є економічно доцільнішою порівняно з традиційними методами.

Отриманий у процесі піролізу шлак є відносно безпечним і може застосовуватися повторно в різних сферах. На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що піроліз є одним із найбільш екологічно прийнятних і економічно вигідних способів переробки твердих побутових відходів, що робить його доцільним для використання в автоматизованих системах управління такими процесами.

На сьогодні система збору та переробки твердих побутових відходів на Україні не відповідає сучасним вимогам, що зумовлює необхідність її вдосконалення.

Одним із ефективних рішень цієї проблеми є створення підприємств із переробки відходів на основі високотемпературного піролізу [19]. Такі комплекси дозволяють не лише зменшити обсяги накопичених відходів, але й отримувати корисні продукти, зокрема синтез-газ, піролізне масло, а також теплову й електричну енергію.

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

2 РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

2.1 Розроблення технологічної схеми процесу переробки ТПВ методом піролізу

Лінія переробки твердих побутових відходів методом піролізу, зображена на рисунку 2.1, являє собою послідовно організований технологічний процес, у якому відходи проходять декілька стадій перетворення та очищення з отриманням корисних продуктів [20-21].

На початковому етапі тверді побутові відходи надходять у приймальний бункер, який виконує функцію накопичення та рівномірної подачі сировини до наступної ділянки. Після заповнення бункера відходи транспортуються до печі-реактора, де відбувається основний процес піролізу — термічне розкладання матеріалу без доступу кисню при високих температурах. У результаті цього процесу утворюється газоподібна суміш, що містить синтез-газ і піролізне масло, а також твердий залишок у вигляді шлаку.

Далі газоподібні продукти подаються до камери допалювання, де відбувається доочищення шляхом окиснення шкідливих компонентів, зокрема оксидів азоту. Після цього газова суміш за допомогою вентилятора спрямовується до системи очищення, яка складається з кількох послідовних апаратів. Спочатку вона потрапляє у вихровий скруббер, де відбувається видалення частини шкідливих домішок і газів за рахунок інтенсивного контакту з рідиною. Наступним етапом є очищення в електрофільтрі, де з потоку видаляються тверді частинки, зола та дрібнодисперсні домішки під дією електричного поля.

Після електрофільтра газова суміш направляється до санітарного скрубера, де відбувається остаточне очищення, зокрема вилучення важких

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

металів та інших токсичних компонентів. Очищена газоподібна суміш надходить до конденсатора, де відбувається її охолодження і розділення на фракції: синтез-газ відокремлюється від рідкої частини — піролізного масла. Отримані продукти можуть або накопичуватися у спеціальних резервуарах для подальшого використання чи реалізації, або безпосередньо подаватися споживачам як енергоресурс.



Рисунок 2.1. – Лінія переробки твердих побутових відходів методом піролізу.

Твердий залишок, що утворюється у реакторі, виводиться окремо та може бути використаний у будівельній галузі, наприклад, для дорожнього будівництва. Також у процесі очищення вилучаються важкі метали та інші небезпечні компоненти, які підлягають спеціальній утилізації. Уся система працює як єдиний комплекс, у якому кожен етап спрямований на максимальне зменшення об'єму відходів, знешкодження небезпечних речовин та отримання корисних продуктів, що забезпечує екологічну та економічну ефективність процесу.

Технологічний процес переробки твердих побутових відходів методом піролізу [22] являє собою складну багатостадійну систему, у якій відходи

послідовно проходять етапи підготовки, термічної обробки та очищення з отриманням корисних продуктів. (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1. – Технологічна схема процесу переробки ТПВ методом піролізу.

На початковому етапі тверді побутові відходи надходять у приймальний бункер, де відбувається їх накопичення та вирівнювання подачі. Далі матеріал спрямовується на стадію підготовки, яка може включати подрібнення, часткове сортування та видалення великих або

небажаних компонентів. Така обробка необхідна для забезпечення рівномірності сировини та підвищення ефективності подальших процесів.

Після підготовки відходи подаються до піролізного реактора, де відбувається їх термічне розкладання при високих температурах без доступу кисню. У цих умовах органічна частина відходів розпадається на газоподібні, рідкі та тверді продукти. Основними продуктами піролізу є синтез-газ, піролізне масло та твердий залишок у вигляді шлаку. Газова суміш, що утворюється в реакторі, містить різноманітні горючі компоненти, а також домішки, які необхідно видалити перед подальшим використанням.

На наступному етапі газова суміш надходить у камеру допалювання, де відбувається додаткове окиснення залишкових шкідливих компонентів, таких як оксиди азоту або чадний газ. Після цього газ транспортується до системи очищення, що включає скрубери, де відбувається видалення пилу, кислотних газів та інших небезпечних домішок. Додаткове очищення здійснюється в електрофільтрах або подібних пристроях, які вловлюють дрібнодисперсні тверді частинки.

Очищена газова суміш подається до конденсатора, у якому відбувається її охолодження та розділення на складові. У результаті цього процесу виділяється синтез-газ, який може використовуватись як паливо для виробництва теплової або електричної енергії, а також піролізне масло, що є цінним енергоносієм і може застосовуватися у промисловості. Твердий залишок, що утворюється у реакторі, виводиться окремо і може використовуватись, наприклад, у будівельній галузі.

Таким чином, технологічна схема піролізної переробки забезпечує не лише зменшення об'єму відходів, але й їх перетворення на корисні енергетичні ресурси. Важливою перевагою цієї технології є можливість її автоматизації, що дозволяє контролювати всі стадії процесу, підвищувати ефективність роботи обладнання та мінімізувати вплив людського фактора.

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

2.2 Розроблення функціональної схеми автоматизованої системи управління процесом термічної обробки твердих побутових відходів

Функціональна схема, зображена на рисунку 2.3, відображає роботу автоматизованої системи управління процесом термічної обробки (піролізу) з використанням буферних ємностей, теплообмінного обладнання та системи подачі й регулювання теплоносія. У центрі схеми розташовано три вертикальні буферні резервуари, які виконують роль акумуляторів теплової енергії. У цих ємностях відбувається накопичення та вирівнювання температури теплоносія. Колірна градація (від синього до червоного) показує розподіл температури по висоті резервуарів: у нижній частині знаходиться холодніший шар, а у верхній — гарячіший. Це свідчить про стратифікацію рідини, що є важливим для ефективного використання тепла в системі.

Теплоносієм циркулює по замкненому контуру, який позначений трубопроводами різного кольору. Червоні лінії відповідають за подачу гарячого теплоносія, а сині — за повернення охолодженого. Рух рідини забезпечується насосами, встановленими на трубопроводах. Кожен насос керується автоматично та має відповідні датчики і виконавчі механізми, що дозволяє регулювати витрату і тиск у системі. У верхній частині схеми зображені змішувальні вузли, які складаються з регулюючих клапанів, насосів і датчиків температури. Вони забезпечують підтримання заданої температури теплоносія шляхом змішування гарячого і холодного потоків. Клапани керуються сигналами від контролера, що аналізує дані з датчиків температури і формує керуючі впливи.

Праворуч показано теплообмінник (бойлер або водонагрівач), у якому тепло передається від теплоносія до води системи водопостачання. Холодна вода надходить знизу, нагрівається в теплообміннику і подається споживачеві. Це демонструє утилізацію теплової енергії, отриманої в процесі піролізу відходів.

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

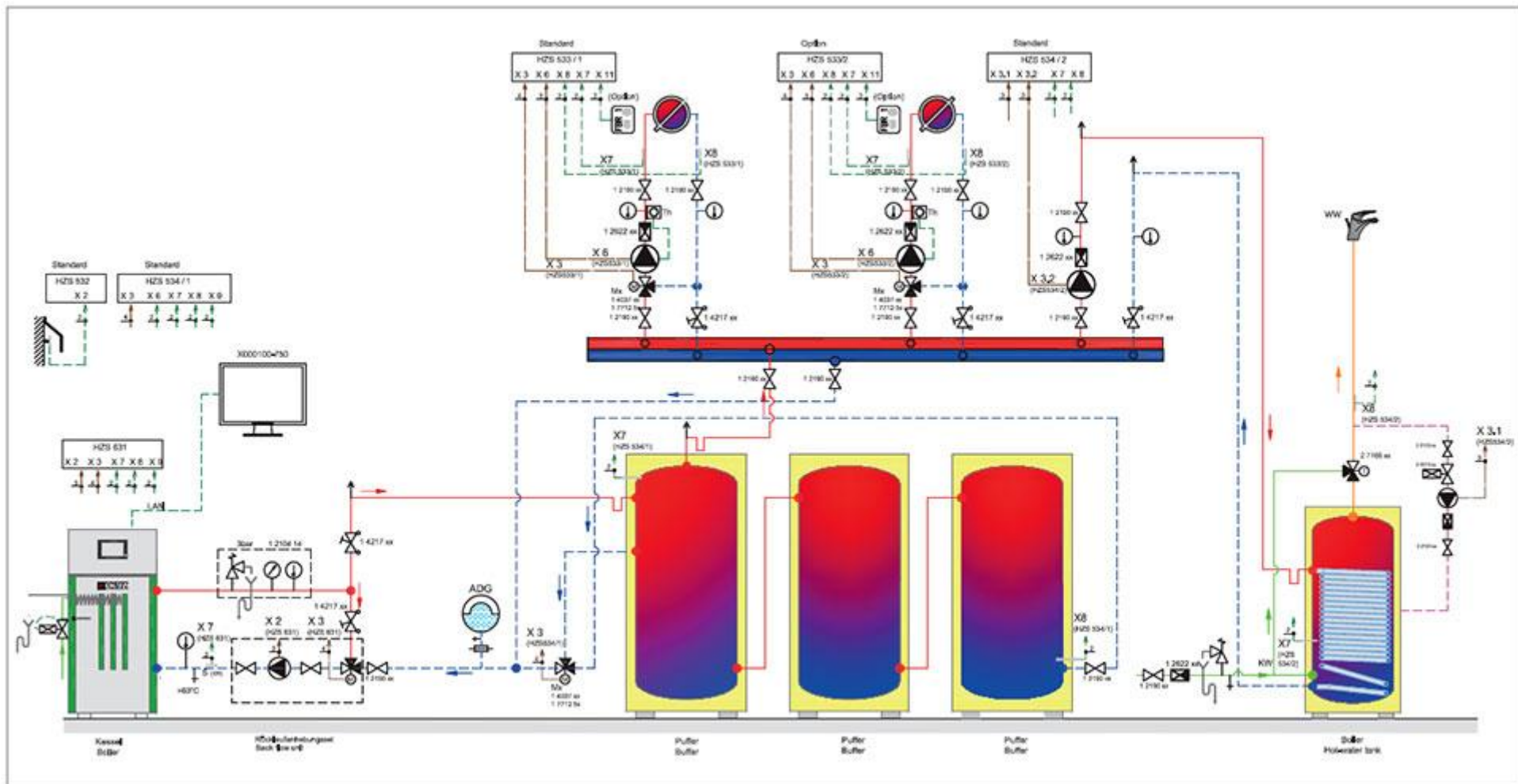


Рисунок 2.3. – Функціональна схема процесу переробки ТПВ методом піролізу.⁸¹

У нижній частині схеми також присутні додаткові елементи, такі як датчики тиску (позначений як ADG), запірна арматура та зворотні клапани, які забезпечують безпечну та стабільну роботу системи. Вони запобігають зворотному потоку, перевищенню тиску та аварійним ситуаціям.

Зліва на рисунку розміщено операторську станцію (комп'ютер), яка є частиною системи диспетчерського управління. Вона отримує інформацію з датчиків, відображає параметри процесу та дозволяє оператору контролювати й змінювати режими роботи системи.

Таким чином, функціональна схема демонструє повністю автоматизований процес керування тепловими потоками: від генерації тепла (внаслідок піролізу) до його накопичення, регулювання та передачі споживачам. Усі елементи системи взаємопов'язані й працюють як єдиний комплекс, що забезпечує ефективність, енергоощадність і безпечність технологічного процесу.

2.3 Розроблення структурної схеми регулювання температури в реакторі

Для забезпечення стабільної роботи реактора необхідно розв'язати задачу синтезу системи керування температурою. У теорії автоматичного керування розрізняють функціональний синтез, який передбачає визначення закону керування, та параметричний синтез, спрямований на підбір параметрів уже заданого закону.

У більшості практичних випадків застосовується саме параметричний синтез, що дозволяє налаштувати систему відповідно до вимог до якості регулювання.

Контроль температури є однією з найпоширеніших задач автоматизації. Хоча пропорційні регулятори часто використовуються через свою простоту, вони не забезпечують достатньої точності. Це пояснюється

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

тим, що при досягненні заданого значення сигнал керування зникає, унаслідок чого система починає відхилятися від встановленого режиму.

У результаті температура коливається навколо заданого значення, що є небажаним, особливо у процесах, де потрібна висока точність і стабільність. У випадку переробки відходів така нестабільність може створювати небезпечні ситуації.

З огляду на це доцільно застосувати пропорційно-інтегральний регулятор, який забезпечує точніше підтримання температури та зменшує статичну похибку.

Розроблена структурна схема системи регулювання температури відображає взаємодію між датчиком температури, регулятором і виконавчим механізмом. Вона демонструє принцип формування керуючого сигналу та його вплив на об'єкт керування, що забезпечує підтримання температури в заданих межах.

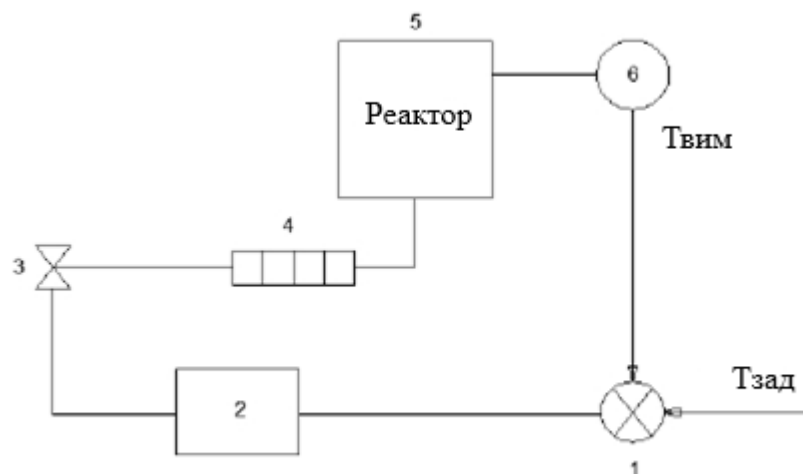


Рисунок 2.4 – Структурна схема системи регулювання температури

Процес керування температурою починається з того, що датчик (6) вимірює фактичне значення температури в реакторі та передає цей сигнал на вузол порівняння (1). Одночасно до цього вузла надходить задане значення температури. Після зіставлення двох сигналів формується різниця між ними — похибка розузгодження, яка надходить до регулятора (2).

На основі отриманої похибки регулятор генерує керуючий сигнал, що передається на регулюючий орган (3). Останній змінює потужність нагрівального елемента (4) відповідно до цього сигналу, забезпечуючи підтримання температури на необхідному рівні.

Дана схема може бути представлена у більш зручному вигляді для розрахунку передавальної функції (рисунок 2.5)

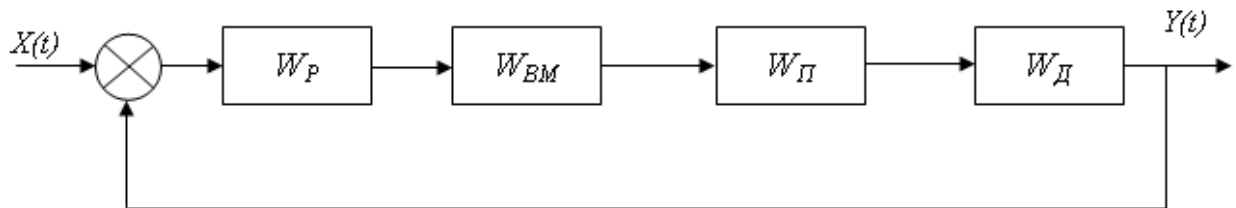


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи регулювання температури

Передавальні функції елементів системи автоматичного регулювання (САР) температурою в печі-реакторі мають наступний вигляд:

Виконавчий механізм:

$$W_{BM}(s) = \frac{K_{\text{вм}}}{T_{\text{вм}} \cdot s + 1}, \quad (2.1)$$

приймемо $K_{\text{вм}} = 1$, $T_{\text{вм}} = 5$ с.

Піч-реактор:

$$W_{\Pi}(s) = \frac{K_n}{T_n \cdot s + 1} e^{-\tau \cdot s} \quad (2.2)$$

приймемо $K_n = 2$, $T_n = 200$ с, $\tau = 20$ с.

Датчик температури:

$$W_{Д}(s) = \frac{1}{T_{\text{д}} \cdot s + 1}, \quad (2.3)$$

де $T_\theta = 2\text{с}$.

Регулятор:

$$W_P(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} \right), \quad (2.4)$$

Загальний вигляд передавальної функції тоді буде:

$$W_{заг}(s) = W_{BM}(s) \cdot W_{II}(s) \cdot W_D(s) \cdot W_P(s), \quad (2.5)$$

Підставивши (2.1) – (2.4) в (2.5) отримаємо:

$$W_{заг}(s) = \frac{K_{\text{вм}}}{T_{\text{вм}} \cdot s + 1} \cdot \frac{K_n}{T_n \cdot s + 1} e^{-\tau \cdot s} \cdot \frac{1}{T_\theta \cdot s + 1} \cdot K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} \right) \quad (2.6)$$

Існують два основні підходи до визначення параметрів ПІ-регулятора. Перший базується на аналітичному розрахунку параметрів на основі математичної моделі системи, що дозволяє отримати досить точні результати. Другий підхід полягає у підборі коефіцієнтів експериментальним шляхом.

У випадку експериментального налаштування створюється модель системи, після чого змінюються параметри регулятора та аналізується реакція системи. Залежно від характеру перехідного процесу — наявності перерегулювання або недостатнього реагування — параметри коригуються до досягнення стійкої роботи системи.

Для підбору коефіцієнтів було змодельовано систему у середовищі Vissim, яка відтворює роботу ПІ-регулятора із зворотним зв'язком (рисунок 2.6).

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

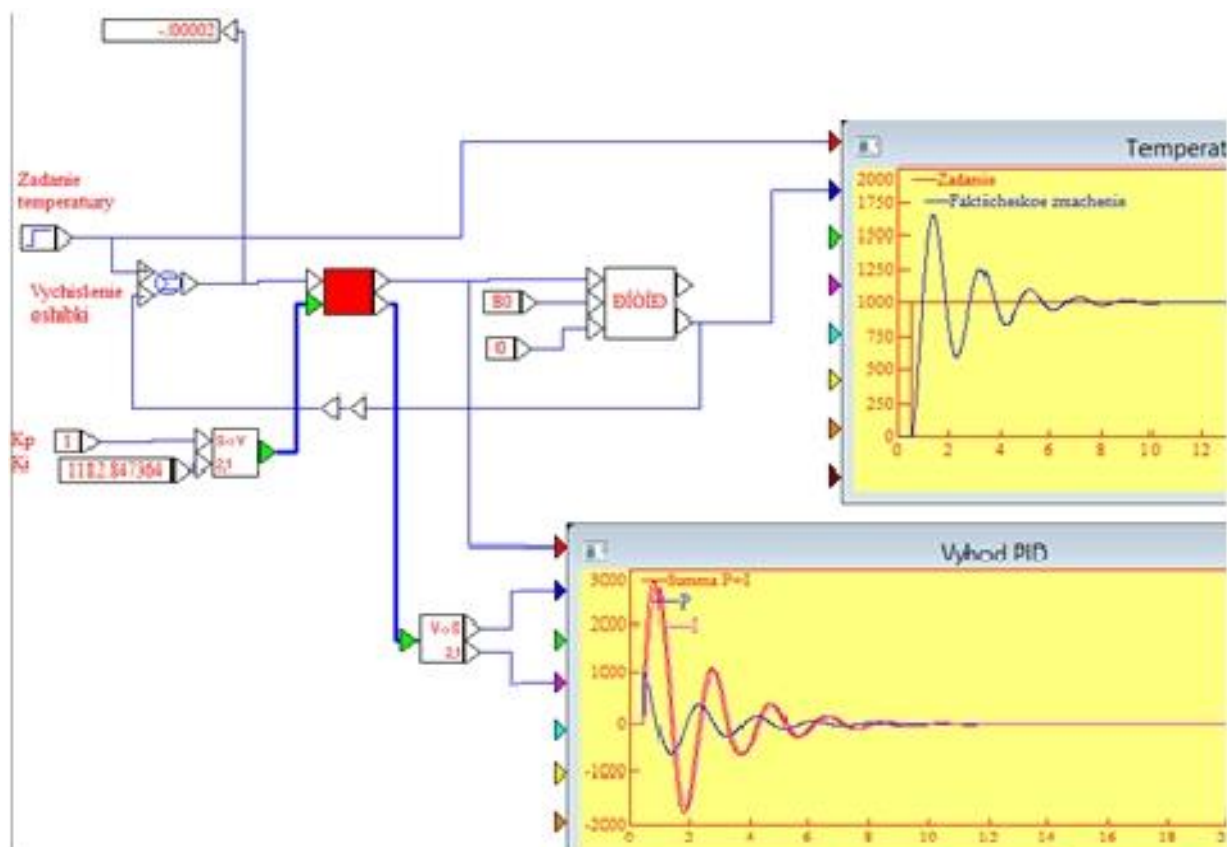


Рисунок 2.6 – Модель системи автоматичного регулювання температури в печі в середовищі Vissim

У результаті дослідження встановлено (рисунок 2.7)), що система працює стабільно, а похибка є незначною, що свідчить про коректність підібраних параметрів.

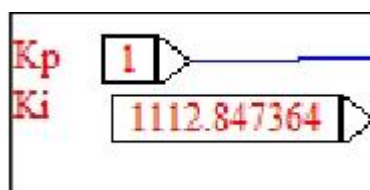


Рисунок 2.7 – Розрахунок коефіцієнтів Пі регулятора в Vissim

Отримані значення коефіцієнтів прийнято як базові для подальшого налаштування: де коефіцієнт пропорційності $K_p = 1$, а інтегральна складова $T_i \approx 1112,85\text{с}$.

2.4 Вибір програмно-технічного забезпечення

Програмно-технічний комплекс автоматизованої системи керування процесом переробки твердих побутових відходів методом піролізу побудовано за трирівневою структурою (рисунк 2.8). Він забезпечує збір, оброблення та збереження інформації, а також формування керуючих впливів на виконавчі механізми.

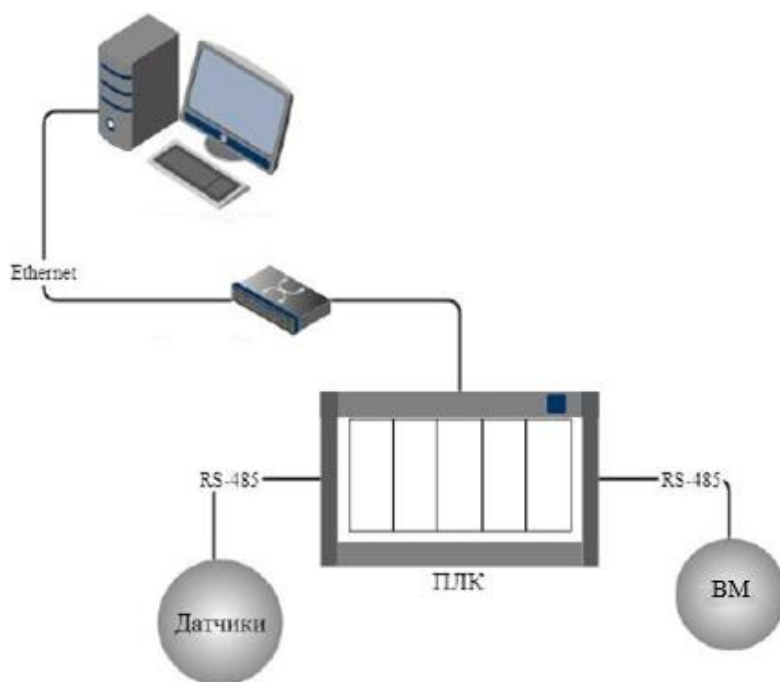


Рисунок 2.8 – Структурна схема комплексу технічних засобів

Реалізована система дає змогу автоматизувати керування обладнанням, підвищити якість отриманого синтез-газу завдяки вдосконаленню алгоритмів керування, забезпечити відображення параметрів процесу для оператора та зберігати інформацію про перебіг технологічного процесу.

Структурна схема комплексу технічних засобів відображає склад системи та взаємозв'язки між її елементами. На нижньому рівні розміщені датчики та виконавчі механізми, які взаємодіють із програмованим логічним контролером через інтерфейс RS-485.

Середній рівень представлений ПЛК, який виконує функції збору та

оброблення інформації, керування технологічним процесом і передачі даних на верхній рівень. Також він приймає команди від оператора та формує відповідні сигнали для виконавчих механізмів. Зв'язок між контролером і комп'ютером оператора реалізовано через інтерфейс Ethernet.

На верхньому рівні розташований комп'ютер оператора, який забезпечує візуалізацію процесу, формування керуючих команд і збереження архівних даних.

Програмований логічний контролер є мікропроцесорним пристроєм, призначеним для роботи в реальному часі. Він забезпечує приймання сигналів від датчиків, їх оброблення, збереження та формування керуючих впливів на виконавчі механізми.

Для визначення оптимального варіанту було розглянуто кілька моделей контролерів різних виробників:

- 1) фірми Siemens, Simatic S7-312;
- 2) фірми Schneider Electric, Modicon M340;
- 3) фірми OWEN, PLC 154-220 A-M.

На основі аналізу їх технічних характеристик, функціональних можливостей і співвідношення вартості до якості було сформовано порівняльну таблицю, що дозволило обґрунтовано обрати найбільш доцільний варіант для реалізації системи автоматизації.

Таблиця 2.1 – Характеристики ПЛК

Назва / характеристики	Owen PLC 154-220 A-M	Siemens Simatic S7-312	Schneider Electric Modicon M340
Процесор	200 МГц	200 МГц	—
Оперативна пам'ять (ОЗП)	8 МБ	3200 КБ	4096 КБ
Споживана потужність	6 Вт	10 Вт	17 Вт
Час виконання циклу	4 мкс	6 мкс	1,16 мкс
Дискретні входи/виходи	4 / 4	до 256	до 1024
Аналогові входи/виходи	4 / 4	до 64	до 256
Середовище програмування	CoDeSys v2.3	Simatic Step 7	Unity Pro
Ціна	71 454 грн	106 075 грн	152 390 грн

Враховуючи співвідношення вартості та функціональних можливостей серед розглянутих програмованих логічних контролерів, для подальшої реалізації було обрано пристрій компанії Owen — PLC 154-220 А-М.

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМІЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У СЕРЕДОВИЩІ CODESYS

3.1 Обґрунтування вибору програмного комплексу CoDeSys

Протягом останніх років на ринку з'явилася значна кількість універсальних інструментів програмування відповідно до стандартів МЕК, які можна відносно легко адаптувати до різних апаратних платформ. Завдяки високому рівню конкуренції та спеціалізації такі програмні засоби досягли значного розвитку та ефективності.

Більшість виробників програмованих контролерів сьогодні пропонують використовувати зі своїм обладнанням один із відомих універсальних програмних пакетів МЕК. Якщо розглядати європейський ринок, то тут провідні позиції займає програмний комплекс CoDeSys [23-24], розроблений німецькою компанією 3S-Smart Software Solutions GmbH. Станом на кінець 2006 року цей продукт підтримували понад дві сотні компаній у різних країнах світу, серед яких значну частку становлять виробники контролерів та вбудованих систем.

Середовище CoDeSys має низку переваг, зокрема чітке розмежування системного та прикладного програмного забезпечення, високу швидкість генерації машинного коду, відкритість платформи, безкоштовне розповсюдження, наявність вбудованих засобів візуалізації та інші корисні функції.

3.2 Блок-схеми алгоритму роботи програми ПЛК автоматизованої системи переробки твердих побутових відходів

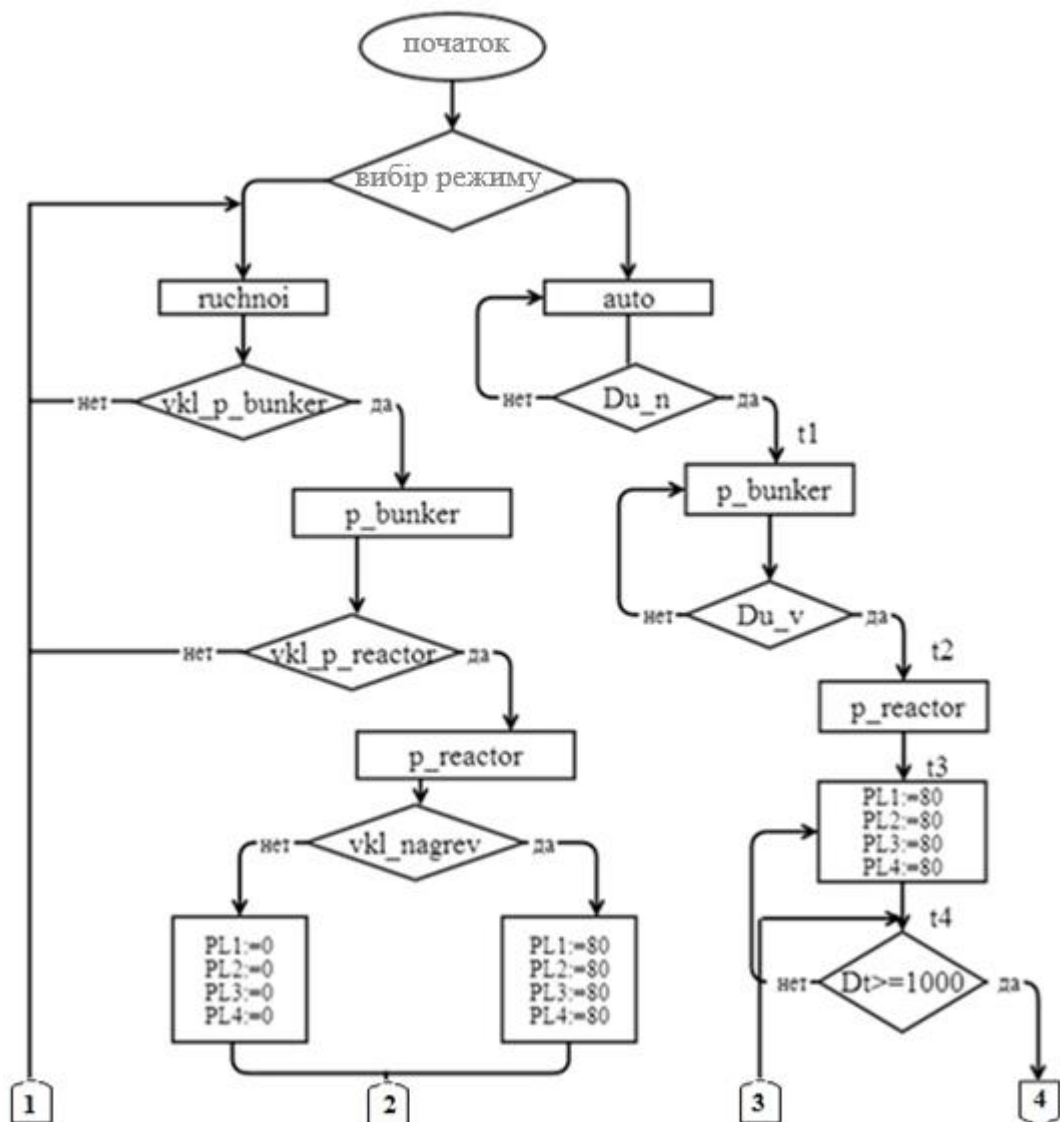
Блок-схема є наочним графічним представленням алгоритму роботи програми. Кожна окрема дія алгоритму відповідає певному функціональному

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

блоку, а вся схема являє собою послідовність взаємопов'язаних блоків, що відображають виконання операцій.

Для різних типів дій, таких як введення даних, обчислення, перевірка умов, організація циклів чи завершення процесу, використовуються відповідні умовні графічні позначення. Ці елементи поєднуються між собою лініями, які визначають порядок виконання операцій.

Блок-схема, що описує алгоритм керування процесом переробки твердих побутових відходів, наведена на рисунку 3.1.



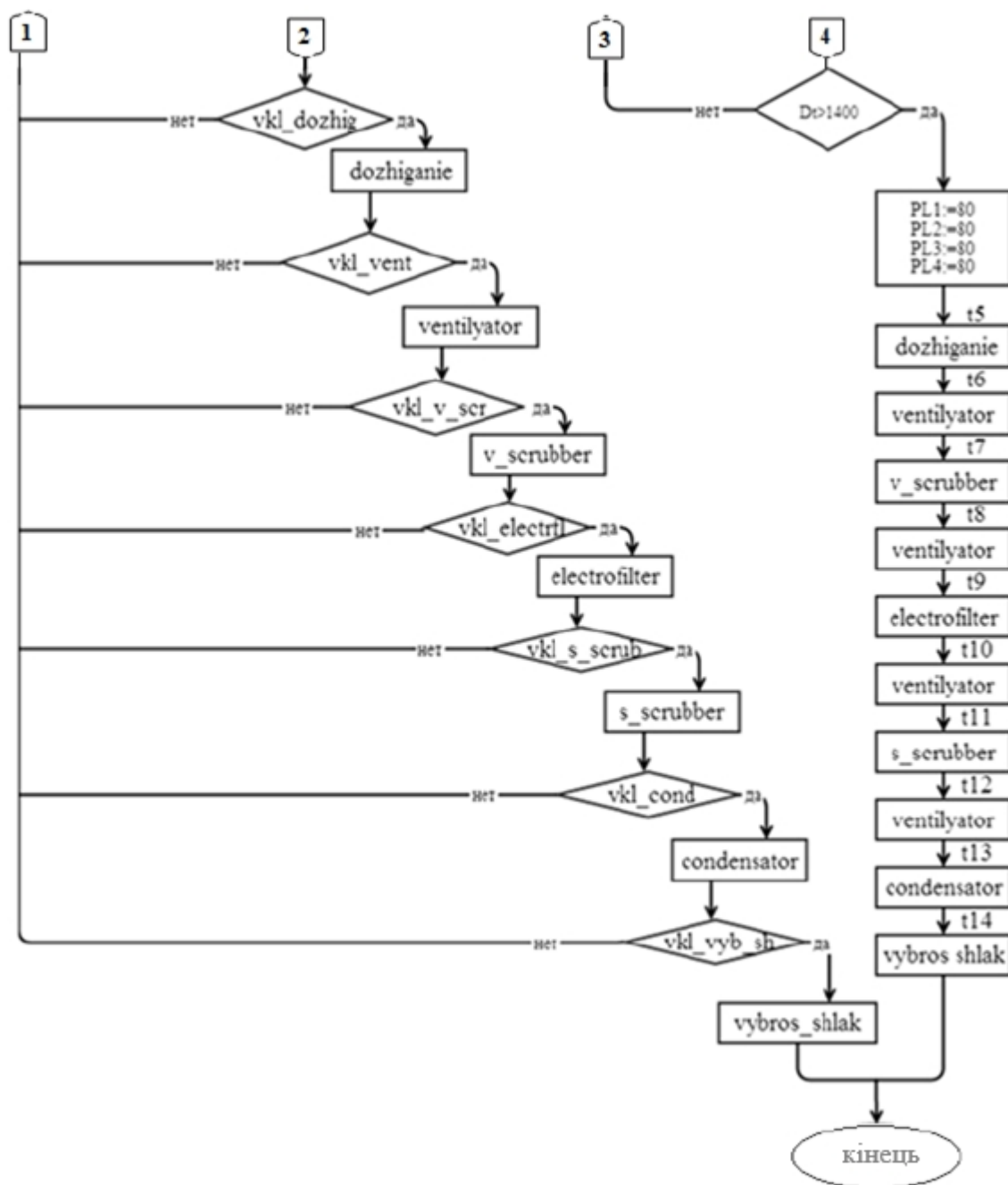


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму програми керування процесом переробки твердих побутових відходів

Алгоритм роботи програми включає послідовні етапи запуску та функціонування системи. Спочатку подається живлення, після чого обирається режим роботи. У разі вибору автоматичного режиму за сигналом нижнього рівня активується подача відходів у бункер. Після спрацювання датчика верхнього рівня здійснюється їх транспортування до реактора із

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

запуском таймера. Далі відбувається активація плазмотронів і контроль температурного режиму з одночасною фіксацією часу виконання операцій.

Наступні етапи включають допалювання газової суміші, її відведення вентилятором, очищення у вихровому скрубєрі, подальше транспортування та очищення в електрофільтрі. Після цього суміш проходить додаткову очистку в санітарному скрубєрі, а потім надходить до конденсатора, де відбувається її відстоювання та розділення. Завершальним етапом є відкриття заслінок для видалення шлаку та інших продуктів переробки. Усі операції супроводжуються запуском відповідних таймерів для контролю тривалості процесів.

3.3 Конфігурація обладнання в середовищі CoDeSys

Налаштування конфігурації обладнання здійснюється з урахуванням кількості вхідних і вихідних сигналів системи. Відповідно до розробленого алгоритму, у програмі передбачено набір дискретних і аналогових сигналів різних типів.

Зокрема, система використовує шістнадцять дискретних вхідних сигналів, які включають кнопки запуску та зупинки, перемикачі режимів роботи, сигнали від датчиків рівня, а також елементи ручного керування виконавчими механізмами (рисунок 3.2).

Для керування обладнанням застосовуються дев'ять дискретних вихідних сигналів, що формують відповідні впливи на виконавчі пристрої.

Крім того, передбачено чотири аналогові входи для отримання даних від датчиків температури, а також чотири аналогові виходи, за допомогою яких здійснюється керування плазмотронами.

Така конфігурація забезпечує повноцінну реалізацію алгоритму керування та стабільну роботу всієї автоматизованої системи.

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

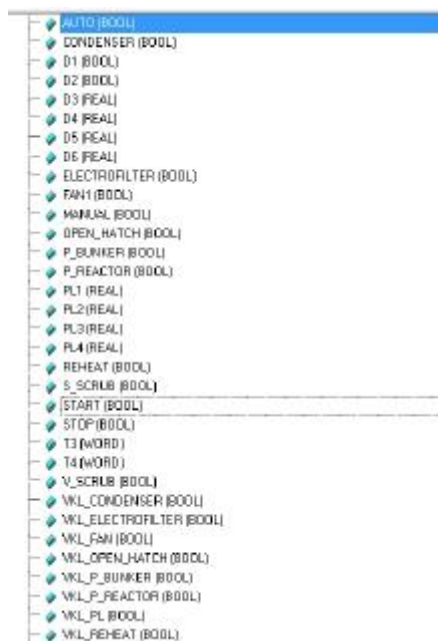


Рисунок 3.2 – Список глобальних змінних

Виходячи зі сформованого переліку глобальних змінних, було виконано налаштування конфігурації обладнання. Оскільки програмований логічний контролер має лише чотири вбудовані дискретні входи та чотири виходи, виникла необхідність у розширенні його можливостей. Для цього додано модуль дискретних виходів на вісім каналів, а також два модулі дискретних входів, кожен з яких містить по вісім входів.

3.4 Основна програма в CoDeSys роботи ПЛК

Програма являє собою організаційний блок, який забезпечує виконання обчислень і формування необхідних значень змінних. При цьому всі змінні зберігають свої значення між викликами програми, що дозволяє підтримувати безперервність роботи. Такий програмний модуль має глобальний характер у межах усього проекту.

У середовищі CoDeSys автоматично створюється головна програма з назвою PLC_PRG. Змінювати її назву або видаляти не допускається, оскільки

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

вона виконує функцію основного керуючого модуля в однозадачному проєкті.

Реалізація основної програми виконана мовою структурованого тексту (ST), яка є мовою програмування стандарту IEC 61131-3 та за своєю структурою подібна до Pascal. Цю мову доцільно використовувати для створення складних алгоритмів, особливо при роботі з аналоговими сигналами та числами з плаваючою комою. Повний текст програми наведено у відповідному додатку.

Перелік локальних змінних, які використовуються в основній програмі, наведений на рисунку 3.3.

```
M1: BOOL;
M2_1: BOOL;
M2_2: BOOL;
M3: BOOL;
M4: BOOL;
T1: TON;
M5: BOOL;
PID_TEMPERATURA_BOTTOM1: PID_TEMPERATURA_BOTTOM1;
T2: TON;
M6: BOOL;
PID_TEMPERATURA_BOTTOM2: PID_TEMPERATURA_BOTTOM2;
PID_TEMPERATURA_TOP1: PID_TEMPERATURA_TOP1;
PID_TEMPERATURA_TOP2: PID_TEMPERATURA_TOP2;
T5: TON;
T6: TP;
M7: BOOL;
M8: BOOL;
T7: TP;
T8: TP;
M9: BOOL;
M10: BOOL;
T9: TP;
T10: TP;
M11: BOOL;
T11: TP;
M12: BOOL;
T12: TP;
M13: BOOL;
T13: TP;
M14: BOOL;
T14: TP;
M15: BOOL;
T15: TON;
M17: BOOL;
```

Рисунок 3.3 – Список локальних змінних головної програми

Робота програми починається з подачі живлення та вибору режиму функціонування. Для запобігання аварійним ситуаціям у цей момент активуються спеціальні службові змінні (маркери). Відповідний фрагмент програми представлено на рисунку 3.4.

```

01(*PODACHAPITANIYA*)
02IF START=TRUE AND STOP=FALSE
03THEN M1:=TRUE;
04ELSE M1:=FALSE;
05END_IF;
06
07(*VYBOR AVTOMATICHESKOGO REZHIMA*)
08IF M1=TRUE AND AUTO=TRUE AND MANUAL=FALSE
09THEN M2_1:=TRUE; M2_2:=FALSE;
10ELSE M2_1:=FALSE;
11END_IF;
12
13(*VYBOR RUCHNOGO REZHIMA*)
14IF M1=TRUE AND AUTO=FALSE AND MANUAL=TRUE
15THEN M2_2:=TRUE;
16     M2_1:=FALSE;
17ELSE M2_2:=FALSE;
18END_IF;

```

Рисунок 3.4 – Фрагмент програми, подача живлення та вибір режиму.

У разі вибору ручного режиму всі виконавчі механізми керуються безпосередньо за допомогою відповідних кнопок. Якщо ж обрано автоматичний режим, увімкнення обладнання відбувається або за сигналами від датчиків, або відповідно до заданого алгоритму.

Подача твердих побутових відходів у бункер розпочинається після надходження сигналу від датчика рівня D1, який свідчить про відсутність заповнення бункера, або за командою з кнопки керування. Відповідний фрагмент програми наведено на рисунку 3.5.

```

21(*VKLYUCHENIE PODACHI TBOV BUNKER*)
22IF (M2_1 AND D1 AND D2=FALSE AND M5=FALSE) OR (VKL_P_BUNKER AND M2_2)
23THEN P_BUNKER:=TRUE;
24     M3:=TRUE;
25     M17:=FALSE;
26     T1(IN := FALSE, PT:= T#5s);
27ELSE P_BUNKER:=FALSE;
28END_IF;

```

Рисунок 3.5 – Фрагмент програми, включення подачі ТПВ в бункер

Досягнення повного рівня заповнення бункера фіксується дискретним датчиком D2. Якщо від нього надходить сигнал або активується відповідна кнопка керування, запускається подача відходів із бункера до реактора. Програмна реалізація цього процесу показана на рисунку 3.6.

```

29
30 ("VKLYUCHENIE PODACHI TBO V REACTOR")
31 IF (M2_1 AND D2=TRUE AND D1=FALSE AND M3 AND M5=FALSE AND M6=FALSE AND M7=FALSE AND M8=FALSE
32 AND M9=FALSE AND M10=FALSE AND M11=FALSE AND M12=FALSE AND M13=FALSE AND M14=FALSE
33 AND M15=FALSE AND M16=FALSE) OR (VKL_P_REACTOR AND M2_2)
34 THEN P_REACTOR:=TRUE;
35     M4:=TRUE;
36     T2(IN := FALSE, PT:= T#10s);
37 ELSE P_REACTOR:=FALSE;
38 END_IF;
39     T1(IN := M4, PT:= T#5s);
40     T1;

```

Рисунок 3.6 – Фрагмент програми, включення подачі ТПВ до реактора

Після надходження відходів до реактора здійснюється запуск плазмотронів, які забезпечують початковий нагрів. Фрагмент програми, що відповідає за цей етап, наведено на рисунку 3.7.

```

("PERVONACHALNOE VKLYUCHENIE PLAZMOTRONOV")
IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND T1.Q AND M6=FALSE AND M7=FALSE AND M8=FALSE
AND M9=FALSE AND M10=FALSE AND M11=FALSE AND M12=FALSE AND M13=FALSE AND M14=FALSE
AND M15=FALSE AND M16=FALSE) OR (VKL_PL AND M2_2)
THEN PL1:=80;
    PL2:=80;
    PL3:=80;
    PL4:=80;
    M5:=TRUE;
    T2(IN := TRUE, PT:= T#10s);
    T2;
END_IF;
IF T2.Q=FALSE THEN T5(IN:=FALSE, PT:=T#20s);
END_IF;

```

Рисунок 3.7 – Фрагмент програми, включення плазмотронів

Наступним кроком є організація регулювання температури всередині реактора. Для цього створено окремі функціональні блоки ПІ-регулювання: PID_TEMPERATURA_BOTTOM1, PID_TEMPERATURA_BOTTOM2, PID_TEMPERATURA_TOP1 та PID_TEMPERATURA_TOP2. Виклик цих блоків із основної програми зображено на рисунку 3.8.

Контроль температурного режиму здійснюється протягом усього процесу згоряння відходів. Після завершення цього етапу активується подача газової суміші до камери допалювання для очищення від оксидів азоту. Далі

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

вмикається вентилятор, який транспортує суміш до наступного етапу очищення. Відповідні дії ілюструє рисунок 3.9.

```

("REGULIROVANIE TEMPERATURE")
IF M1 AND M3 AND M4 AND M5 AND T2.Q AND M7=FALSE AND M8=FALSE
AND M9=FALSE AND M10=FALSE AND M11=FALSE AND M12=FALSE AND M13=FALSE AND M14=FALSE
AND M15=FALSE AND M16=FALSE
THEN PID_TEMPERATURA_BOTTOM11();
    PID_TEMPERATURA_BOTTOM22();
    PID_TEMPERATURA_TOP11();
    PID_TEMPERATURA_TOP22();
    M6:=T5.Q;
    PL1:=PID_TEMPERATURA_BOTTOM11.POWER;
    PL2:=PID_TEMPERATURA_BOTTOM22.POWER2;
    PL3:=PID_TEMPERATURA_TOP11.POWER3;
    PL4:=PID_TEMPERATURA_TOP22.POWER4;
    T5(IN := TRUE, PT:= T#20s);
    T5;
END_IF;
IF T5.Q=FALSE THEN T5(IN := FALSE, PT:= T#10s);
END_IF;

("VKLYUCHENIE KAMERY DOZHIGANIYA")
IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M8=FALSE
AND M9=FALSE AND M10=FALSE AND M11=FALSE AND M12=FALSE AND M13=FALSE AND M14=FALSE
AND M15=FALSE AND M16=FALSE) OR (VKL_REHEAT AND M2_2)
THEN REHEAT:=TRUE;
    T6(IN := TRUE, PT:= T#10s);
    T6;
    M7:=TRUE;
END_IF;
IF T6.Q THEN T7(IN := FALSE, PT:= T#5s);
END_IF;

```

Рисунок 3.8 – Виклик функціональних блоків регулювання температури з основної програми

```

("VKLYUCHENIE KAMERY DOZHIGANIYA")
IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M8=FALSE
AND M9=FALSE AND M10=FALSE AND M11=FALSE AND M12=FALSE AND M13=FALSE AND M14=FALSE
AND M15=FALSE AND M16=FALSE) OR (VKL_REHEAT AND M2_2)
THEN REHEAT:=TRUE;
    T6(IN := TRUE, PT:= T#10s);
    T6;
    M7:=TRUE;
END_IF;
IF T6.Q THEN T7(IN := FALSE, PT:= T#5s);
END_IF;

("VKLYUCHENIE VENTILYATORA")
IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND T6.Q=FALSE AND M9=FALSE
AND M10=FALSE AND M11=FALSE AND M12=FALSE AND M13=FALSE AND M14=FALSE
AND M15=FALSE AND M16=FALSE) OR (VKL_FAN AND M2_2)
THEN FAN1:=TRUE;
    REHEAT:=FALSE;
    M8:=TRUE;
    T7(IN := TRUE, PT:= T#5s);
    T7;
END_IF;
IF T7.Q THEN T8(IN := FALSE, PT:= T#10s);
END_IF;

```

Рисунок 3.9 – Вмикання вихідних газів у камеру опалювання з наступним включенням вентилятора

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

На наступному етапі суміш очищується від домішок у вихровому скрубєрі, після чого знову активується вентилятор для її подальшого переміщення. Логіка цього процесу наведена на рисунку 3.10.

```
(*OCHISTKA V VIKREVOM SKRUBBERE*)
IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M8 AND T7.Q=FALSE
AND M10=FALSE AND M11=FALSE AND M12=FALSE AND M13=FALSE AND M14=FALSE
AND M15=FALSE AND M16=FALSE) OR ( VKL_V_SCRUB AND M2_2)
THEN T8(IN := TRUE, PT:= T#10s);
T8;
M9:=TRUE;
V_SCRUB:=TRUE;
FAN1:=FALSE;
END_IF;
IF T8.Q THEN T9(IN := FALSE, PT:= T#5s);
END_IF;

(*VKLYUCHENIE VENTILYATORA*)
IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M9 AND T8.Q=FALSE AND M11=FALSE
AND M12=FALSE AND M13=FALSE AND M14=FALSE AND M15=FALSE AND M16=FALSE)
OR ( VKL_FAN AND M2_2)
THEN FAN1:=TRUE;
V_SCRUB:=FALSE;
T9(IN := TRUE, PT:= T#5s);
T9;
M10:=TRUE;
END_IF;
IF T9.Q THEN T10(IN := FALSE, PT:= T#10s);
END_IF;
```

Рисунок 3.10 – Очищення у вихровому скрубєрі з наступним включенням вентилятора.

```
(*OCHISTKA V ELECTROFILTRE*)
IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M9 AND M10 AND T9.Q=FALSE
AND M12=FALSE AND M13=FALSE AND M14=FALSE AND M15=FALSE AND M16=FALSE)
OR ( VKL_ELECTROFILTER AND M2_2)
THEN ELECTROFILTER:=TRUE;
T10(IN:=TRUE, PT:=T#10s);
T10;
M11:=TRUE;
FAN1:=FALSE;
END_IF;
IF T10.Q THEN T11(IN := FALSE, PT:= T#5s);
END_IF;

(*VKLYUCHENIE VENTILYATORA*)
IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M9 AND M10 AND M11 AND T10.Q=FALSE
AND M13=FALSE AND M14=FALSE AND M15=FALSE) OR ( VKL_FAN AND M2_2)
THEN FAN1 :=TRUE;
ELECTROFILTER:=FALSE;
T11(IN := TRUE, PT:= T#5s);
T11;
M12:=TRUE;
END_IF;
IF T11.Q THEN T12(IN := FALSE, PT:= T#10s);
END_IF;
```

Рисунок 3.11 – Очищення від золи з наступною витяжкою газів вентилятором

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Далі здійснюється очищення від твердих частинок, зокрема золи та інших летких компонентів, у електрофільтрі. Після завершення цього процесу знову запускається витяжна система. Відповідний програмний фрагмент показано на рисунку 3.11.

Завершальним етапом очищення є видалення домішок важких металів за допомогою санітарного скрубера. Фрагмент програми, який забезпечує роботу цього вузла, наведено на рисунку 3.12.

```
(*OCHISTKA V SANITARNOM SKRUBBERE*)
IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M9 AND M10 AND M11 AND M12
AND T11.Q=FALSE AND M14=FALSE AND M15=FALSE AND M16=FALSE) OR (VKL_S_SCRUB AND M2_2)
THEN S_SCRUB:=TRUE;
T12(IN:=TRUE, PT:=T#10s);
T12;
M13:=TRUE;
FAN1:=FALSE;
END_IF;
IF T12.Q THEN T13(IN:=FALSE, PT:=T#5s);
END_IF;

(*VKLYUCHENIE VENTILYATORA*)
IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M9 AND M10 AND M11
AND M12 AND M13 AND T12.Q=FALSE AND M15=FALSE AND M16=FALSE) OR (VKL_FAN AND M2_2)
THEN FAN1:=TRUE;
S_SCRUB:=FALSE;
T13(IN:=TRUE, PT:=T#5s);
T13;
M14:=TRUE;
END_IF;
IF T13.Q THEN T14(IN:=FALSE, PT:=T#10s);
END_IF;
```

Рисунок 23.12 – Очищення вихідної суміші від важких металів.

Після цього очищена суміш надходить до конденсатора, де відбувається розділення газової та рідкої фаз, тобто синтез-газу і піролізного масла. Робота цього етапу відображена на рисунку 3.13.

```
(*SBROS SHLAMACHEREZ LETKU*)
IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M9 AND M10 AND M11 AND M12
AND M13 AND M14 AND M15 AND T14.Q=FALSE) OR (VKL_OPEN_HATCH AND M2_2)
THEN OPEN_HATCH:=TRUE;
CONDENSER:=FALSE;
T15(IN:=OPEN_HATCH, PT:=T#10S);
T15;
M16:=T15.Q;
END_IF;

(*SBROS MERKEROV*)
IF M16=TRUE THEN M3:=FALSE; M4:=FALSE; M5:=FALSE; M6:=FALSE; M7:=FALSE; M8:=FALSE; M9:=FALSE;
M10:=FALSE; M11:=FALSE; M12:=FALSE; M13:=FALSE; M14:=FALSE; M15:=FALSE; M17:=TRUE;
END_IF;
IF M17 THEN T15(IN:=FALSE, PT:=T#10S); M16:=FALSE; OPEN_HATCH:=FALSE;
END_IF;
```

Рисунок 3.13 – Відділення синтез-газу від піролізної олії

У програмі також передбачено можливість аварійної зупинки процесу, що дозволяє оперативно припинити роботу системи у разі виникнення небезпечних ситуацій. Реалізація цього механізму наведена на рисунку 3.14.

```
(*AWARIYNAYA OStanovka*)
IF STOP=TRUE THEN
    P_BUNKER:=FALSE;
    P_REACTOR:=FALSE;
    REHEAT:=FALSE;
    S_SCRUB:=FALSE;
    ELECTROFILTER:=FALSE;
    FAN1:=FALSE;
    V_SCRUB:=FALSE;
    CONDENSER:=FALSE;
    OPEN_HATCH:=FALSE;
    PL1:=0;
    PL2:=0;
    PL3:=0;
    PL4:=0;
    M3:=FALSE;M4:=FALSE;M5:=FALSE;M6:=FALSE;
    M7:=FALSE;M8:=FALSE;M9:=FALSE;M10:=FALSE;
    M11:=FALSE; M12:=FALSE; M13:=FALSE;
    M14:=FALSE; M15:=FALSE; M16:=FALSE;
    T1(IN:=FALSE, PT:=T#5S);
    T2(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
    T5(IN:=FALSE, PT:=T#20S);
    T6(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
    T7(IN:=FALSE, PT:=T#5S);
    T8(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
    T9(IN:=FALSE, PT:=T#5S);
    T10(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
    T11(IN:=FALSE, PT:=T#5S);
    T12(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
    T13(IN:=FALSE, PT:=T#5S);
    T14(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
    T15(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
END IF;
```

Рисунок 3.14 – Аварійна зупинка процесу

3.5 Розроблення підпрограми регулювання температури в реакторі

Опис функціонального блока подібний до визначення типу даних. Для роботи з таким блоком необхідно створити його екземпляр (оголосити змінну відповідного типу).

Кожен екземпляр функціонального блока має власне ім'я (ідентифікатор) і набір даних, що включає вхідні, вихідні та внутрішні змінні. Екземпляри можуть оголошуватися як на глобальному, так і на локальному рівні у вигляді змінних відповідного типу функціонального блока.

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

У середовищі CoDeSys передбачена додаткова бібліотека **Util.lib**, підключення якої дозволяє використовувати готовий блок ПІ-регулятора без необхідності його ручного створення.

На рисунку 3.15 наведено блок регулювання температури. Функціональний блок реалізований мовою CFC (неперервні функціональні схеми) і складається з двох основних частин: блоку PID та блоку LIN_TRAFO. У даному блоці здійснюється регулювання температури в нижній зоні печі. Аналогічні структури застосовуються і для контролю температури в інших частинах реактора.

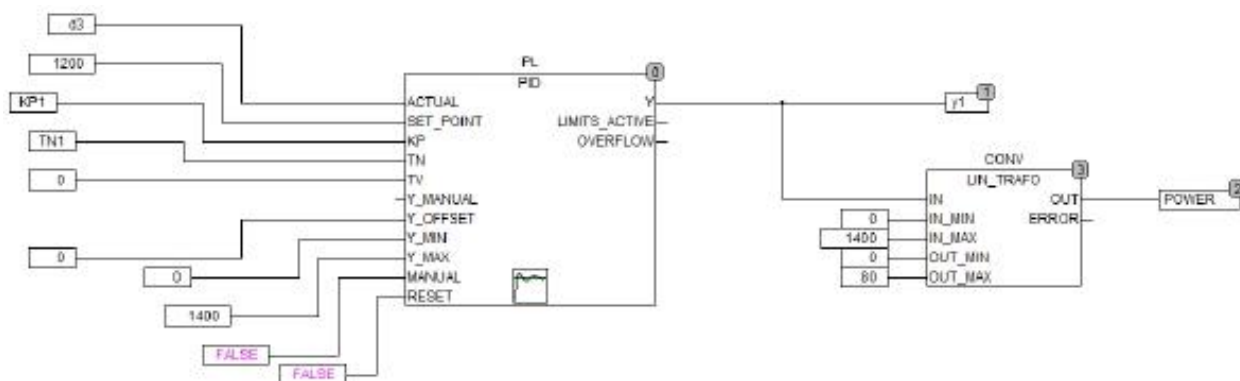


Рисунок 3.15 – Блок регулювання температури

PID-блок реалізує закон автоматичного регулювання:

$$Y = Y_OFFSET + KP \left(e(t) + \frac{1}{TN} \int_0^{TN} (e(t) + TV) \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.1)$$

де: Y_OFFSET — усталене значення вихідного сигналу;

KP — коефіцієнт підсилення (пропорційна складова);

TN — стала інтегрування (мс);

TV — стала диференціювання (мс);

$e(t)$ — сигнал похибки (різниця між заданим і фактичним значенням).

У даній системі використовується ПІ-регулятор, тому диференціальна складова не враховується (дорівнює нулю).

На вхід **ACTUAL** подається поточне значення температури, а на **SET_POINT** — задане. Параметр **KP** визначає коефіцієнт пропорційності, **TN** — інтегральну складову. Значення **Y_OFFSET** відповідає усталеному режиму, а **Y_MIN** і **Y_MAX** задають межі регулювання температури. Вхід **MANUAL** використовується для ручного керування, а **RESET** — для скидання вихідного сигналу після досягнення граничного значення. Вихід **Y** формує керуючий сигнал.

Блок **LIN_TRAFO** виконує лінійне перетворення сигналу **Y** із PID-регулятора у діапазон, придатний для керування плазмотроном (0...80).

3.5 Диспетчерський пункт керування технологічним процесом

Оперативно-диспетчерський пункт реалізовано за допомогою системи візуалізації, інтегрованої в середовище CoDeSys.

CoDeSys HMI — це інструмент для виконання створених візуалізацій. Якщо проєкт містить інтерфейс візуалізації, після запуску він відкривається у повноекранному режимі. Користувач може взаємодіяти з ним за допомогою миші або клавіатури навіть у режимі лише для читання. При цьому відображається лише інтерфейс, без доступу до редагування програми.

У режимі експлуатації меню та панелі розробника CoDeSys недоступні. Усі функції керування та контролю повинні бути заздалегідь прив'язані до елементів інтерфейсу під час розробки. Для цього використовуються спеціальні налаштування в параметрах об'єктів візуалізації.

Глибока інтеграція CoDeSys та CoDeSys HMI забезпечує такі переваги:

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- відсутність потреби у створенні додаткових списків змінних — усі змінні доступні безпосередньо;
- можливість використання математичних виразів у візуалізації (наприклад: $Variable1 + Variable2 + 5$);
- підтримка об’єктно-орієнтованого підходу через використання шаблонів (замінників);
- доступ до інструментів моніторингу змінних і менеджера рецептів.

Для відображення процесу переробки була створена операторська панель, на якій представлені всі виконавчі механізми та елементи керування. Загальний вигляд панелі наведено на рисунку 3.16.

Щоб зробити елемент інтерфейсу динамічним, один із його параметрів (наприклад, текст, колір фону або рамки) пов’язується зі змінною програми. У результаті зміна значення цієї змінної автоматично змінює відповідний параметр елемента. Приклад налаштування такого зв’язку для кнопки START наведено на рисунку 3.17.



Рисунок 3.16 – Основний екран

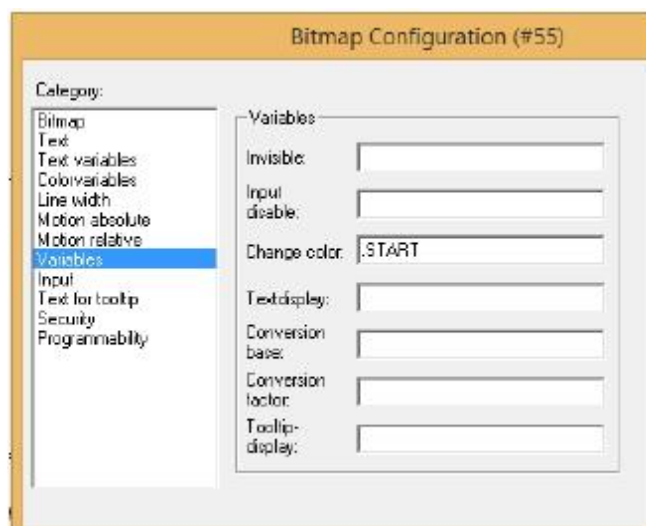


Рисунок 3.17 – Налаштування конфігурації кнопки START

Повний цикл роботи програмного забезпечення можна відстежити за допомогою оперативно-диспетчерського пункту, реалізованого у вигляді системи візуалізації.

Вмикання живлення виконується кнопкою **START**, а вибір режиму роботи здійснюється за допомогою перемикачів **AUTO** та **MANUAL**.

Розглянемо коректність роботи системи в автоматичному режимі. На рисунку 3.18 показано процес подачі ТБО до бункера після надходження сигналу від датчика рівня **D1**.

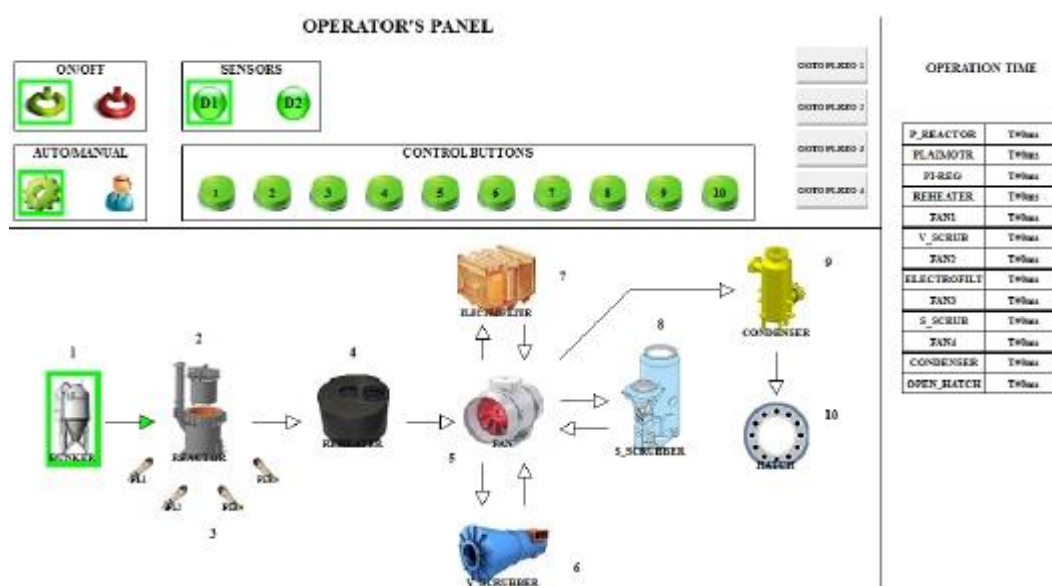
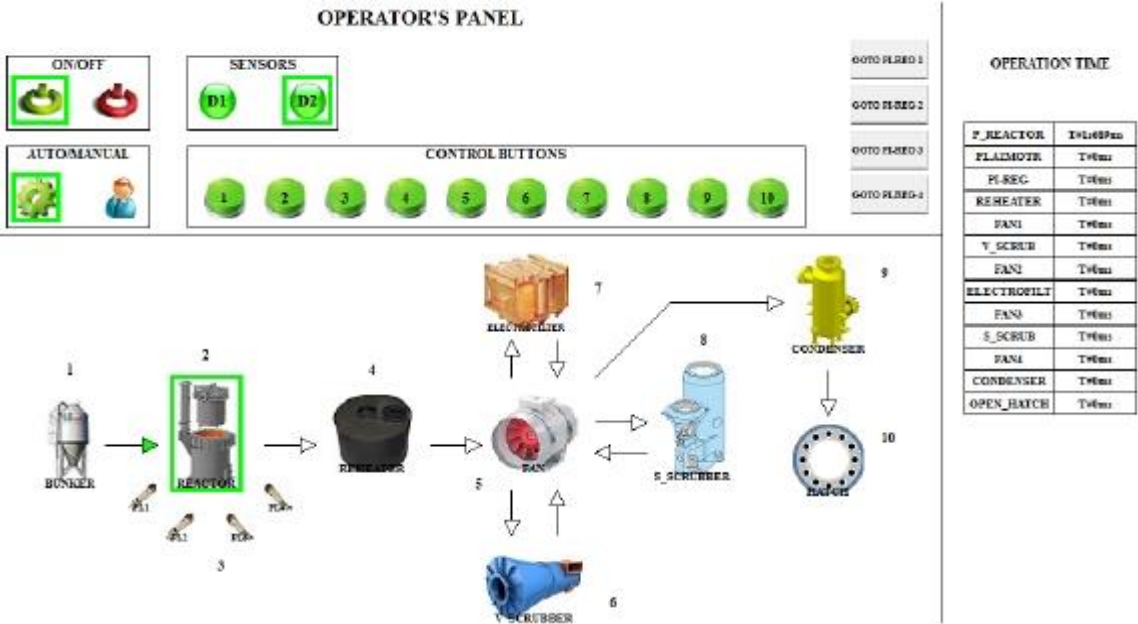


Рисунок 3.18 – Робота диспетчерського пункту, подання ТПВ до бункера

На рисунку 3.19 наведено відображення етапу подачі твердих побутових відходів у реактор після спрацювання датчика **D2**. Додатково на екрані фіксується час виконання операції подачі.



3.19 – Подання ТПВ до реактора

На рисунку 3.20 представлено інтерфейс початкового нагріву ТБО за допомогою плазмотронів. У правій частині вікна в таблиці **OPERATION TIME** відображається тривалість роботи плазмових нагрівальних елементів.

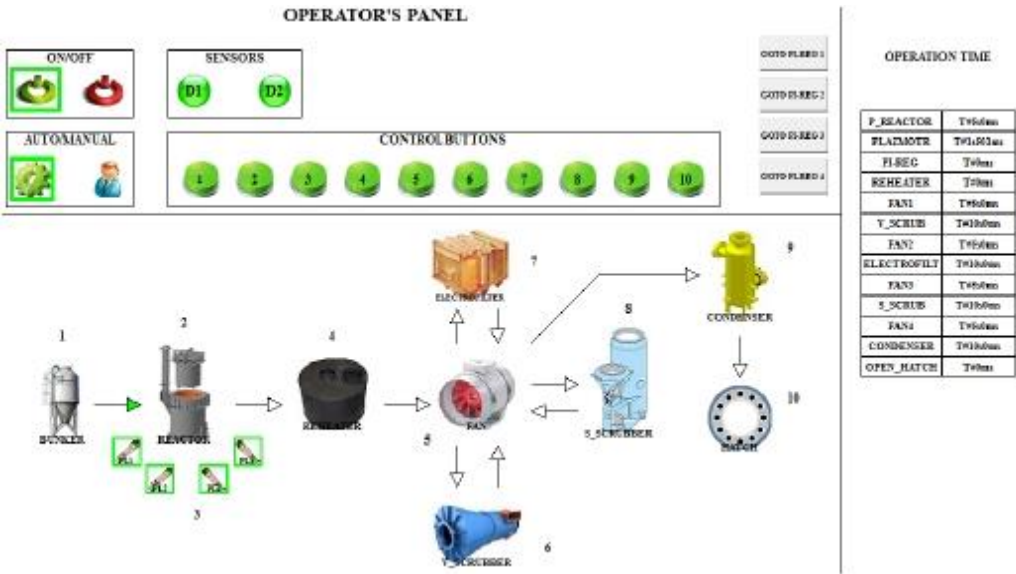


Рисунок 3.20 – Вмикання плазмотронів

Рисунок 3.21 демонструє блок ПІ-регулювання на панелі оператора. З графіка видно, що керуючий вплив формується залежно від значення вхідного сигналу. Вхідним параметром є сигнал з температурного датчика **D3**. Аналогічні регулятори використовуються ще для трьох зон реактора, де кожен отримує дані від відповідних датчиків температури.

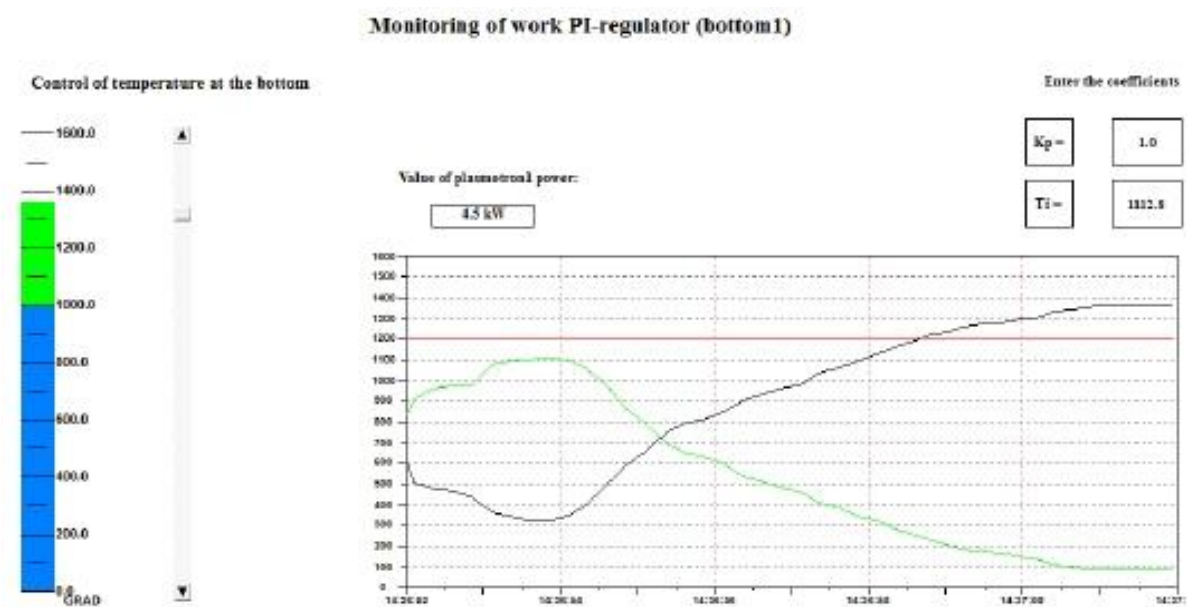


Рисунок 3.21 – Моніторинг роботи ПІ-регулятора температури

На рисунку 3.22 наведено процес роботи камери дожигання газової суміші.

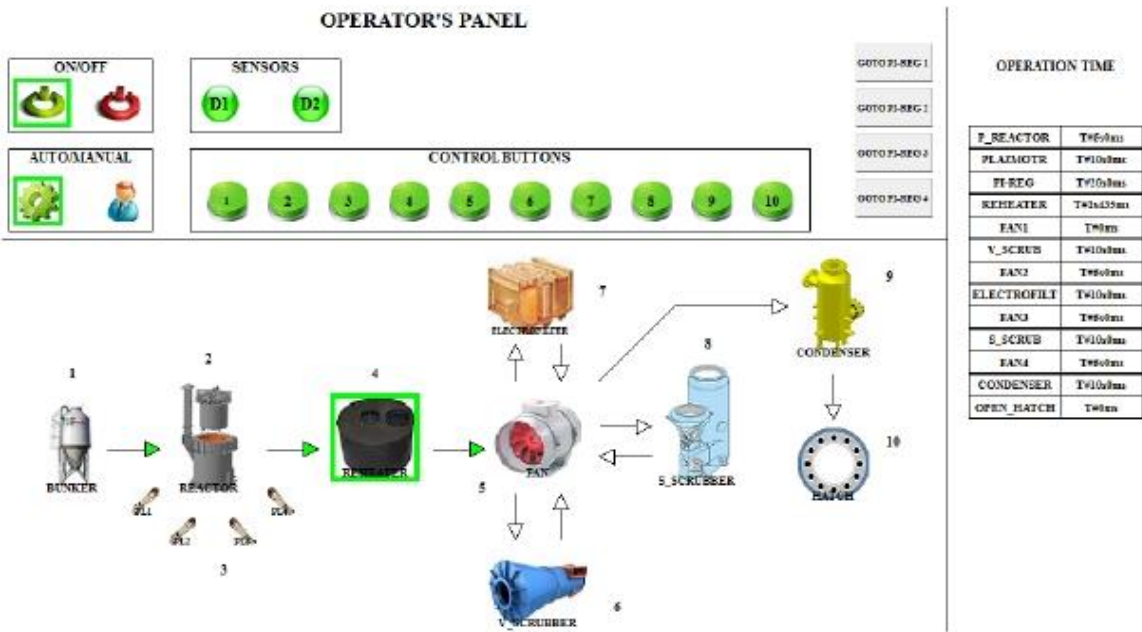


Рисунок 3.22 – Робота камери опалювання

Рисунок 3.23 ілюструє функціонування вентилятора, який забезпечує відсмоктування вихідного газового потоку та його транспортування до наступного етапу очищення.

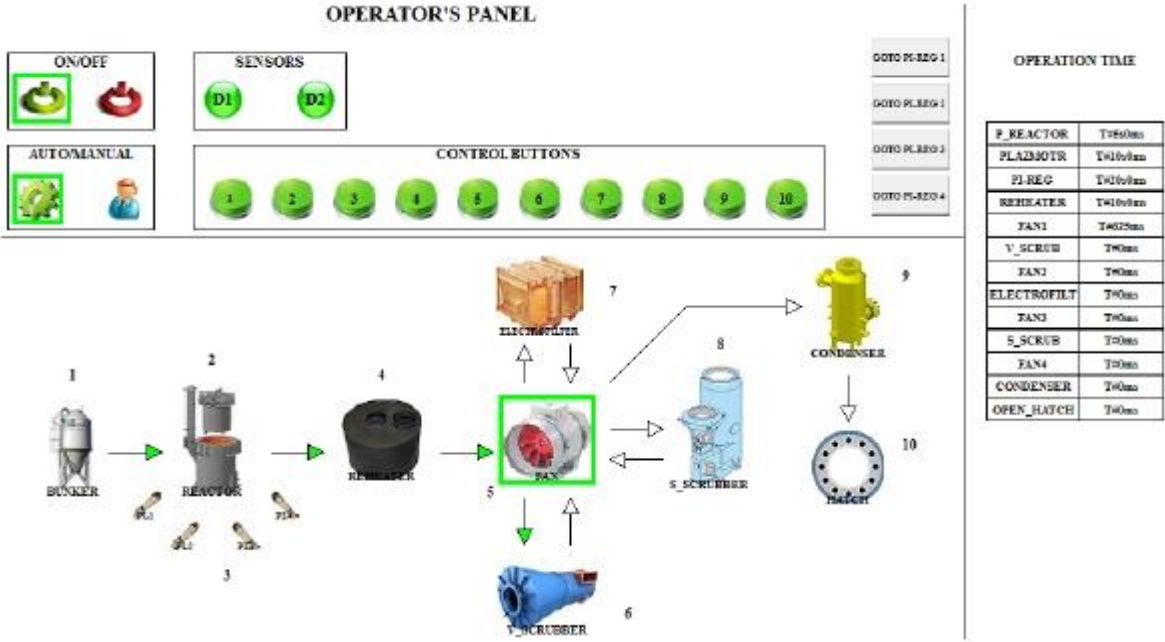


Рисунок 3.23 – Робота вентилятора

Далі суміш проходить очищення від шкідливих домішок у вихровому скруббері V_SCRUB. Робота цього вузла показана на рисунку 3.24.

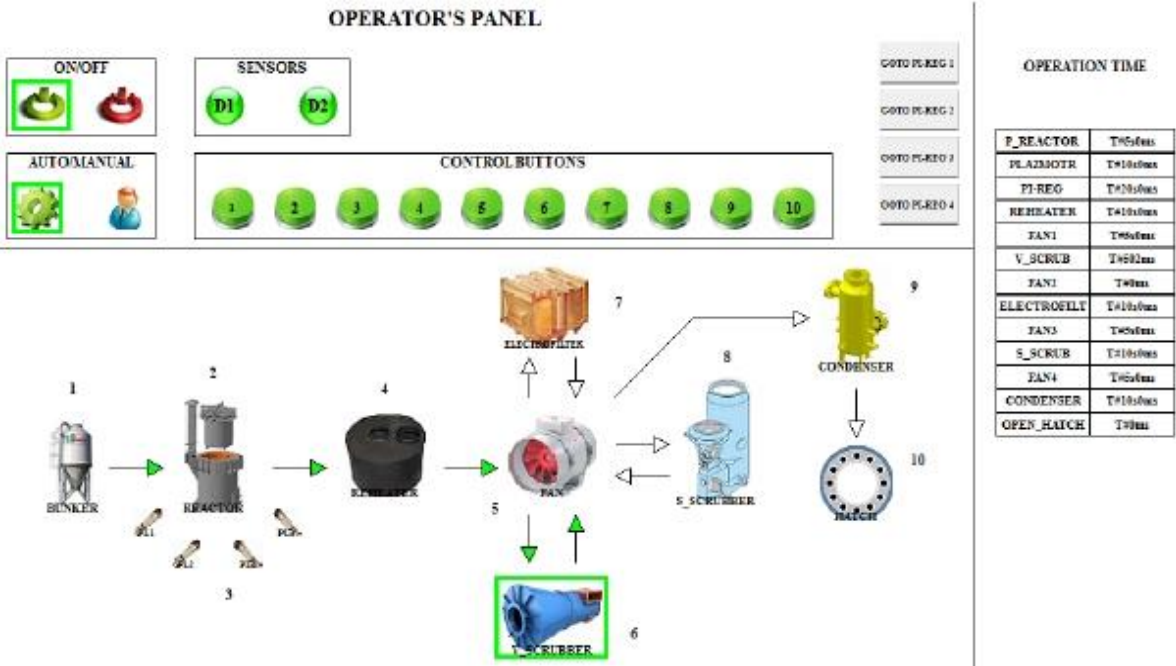
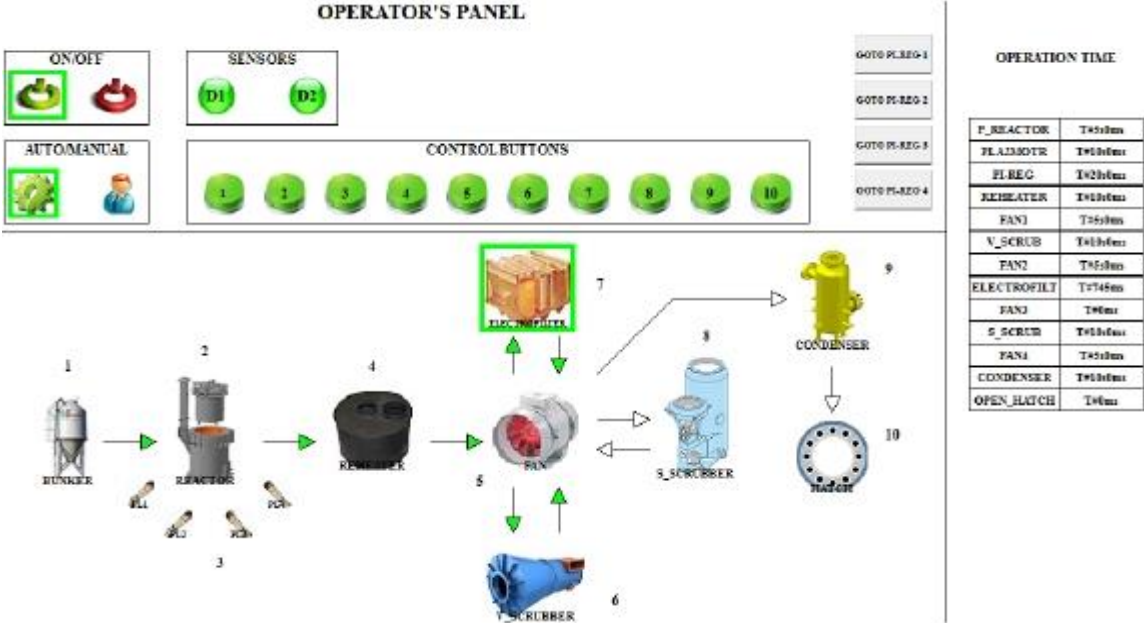
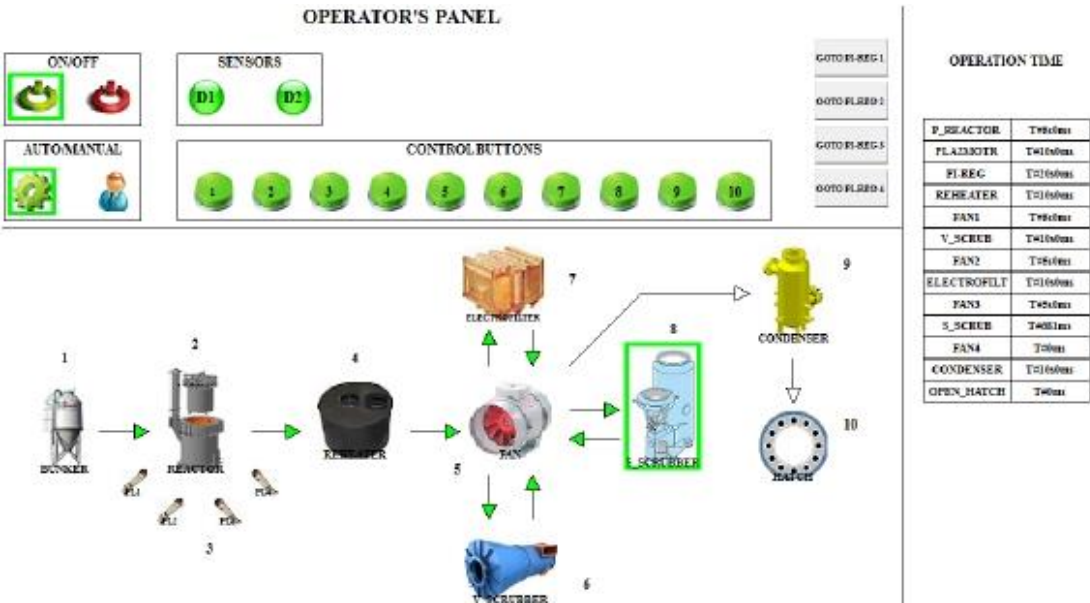


Рисунок 3.24 – Робота вихрового скрубера

Після цього знову вмикається вентилятор, який подає газову суміш до електрофільтра. Тут відбувається видалення золи та дрібнодисперсних частинок. Процес очищення в електрофільтрі відображено на рисунку 3.25.



Наступний етап передбачає очищення газової суміші у санітарному скрубєрі від важких металів, таких як свинець, ртуть та інші домішки. Даний процес відображено на рисунку 3.26.



На рисунку 3.27 представлено роботу конденсатора, у якому відбувається розділення синтез-газу та піролізної олії. Після етапу розділення горючі компоненти можуть або передаватися безпосередньо споживачу, або накопичуватися в резервуарах для подальшого зберігання та реалізації.

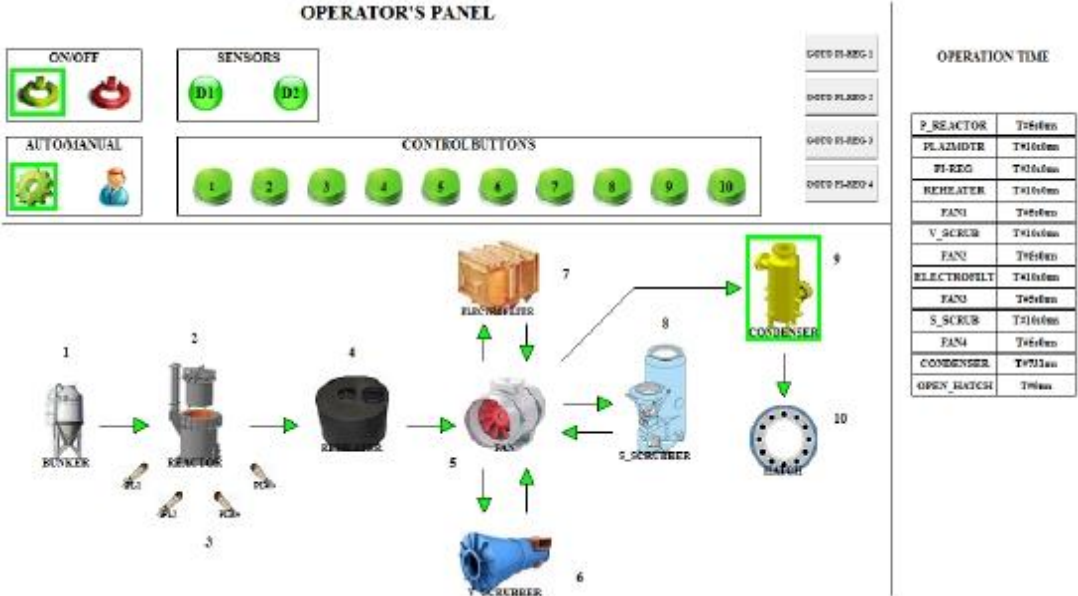


Рисунок 3.27 – Робота конденсатора

Рисунок 3.28 ілюструє роботу системи зливу та видалення непіролізованих залишків, а також уловлених твердих фракцій, таких як зола та важкі метали.

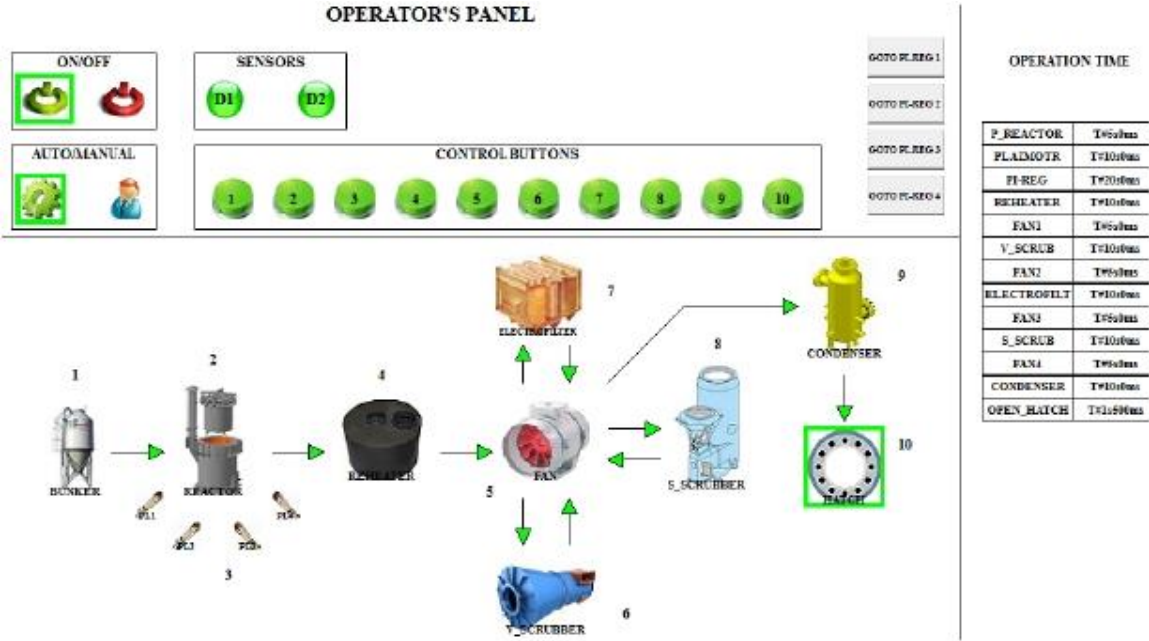


Рисунок 3.28 – Робота пристроїв скидання шлаку

Ручний режим роботи передбачає безпосереднє керування виконавчими механізмами оператором. Елементи керування, розміщені на панелі оператора, наведені на рисунку 3.29.



Рисунок 3.29 – Кнопки керування процесом у ручному режимі

На рисунку 3.30 показано виконання програми керування процесом переробки ТПВ у ручному режимі. Такий режим використовується під час пусконаладжувальних робіт, а також у випадках аварійних ситуацій або відмови мікропроцесорної системи.

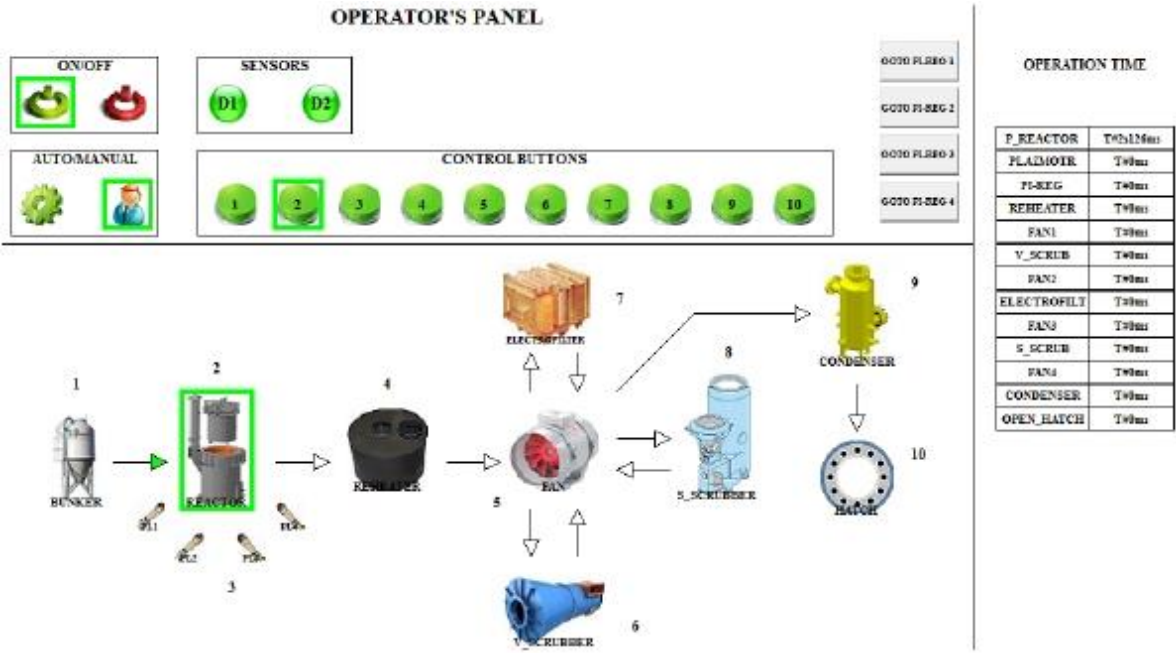


Рисунок 3.30 – Робота програми у ручному режимі

Програмне забезпечення, встановлене на персональному комп'ютері, забезпечує можливість керування технологічним процесом. ПК

підключається до мережі контролерів і відображає технологічну схему, на якій у реальному часі показуються всі стадії виробництва.

У системі передбачено декілька рівнів доступу користувачів: оператори та інженери різних категорій. На рисунку 3.31 показано структуру прав доступу для кожної групи персоналу.

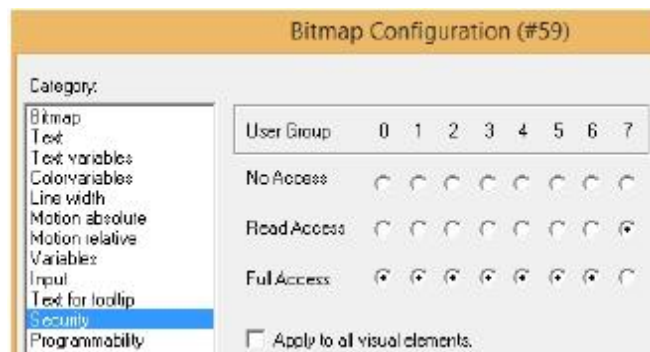


Рисунок 3.31 – Доступ для різних груп користувачів

Кожен рівень захисту має власний пароль, який вводиться під час входу в систему. Діалогове вікно авторизації наведено на рисунку 3.32.



Рисунок 3.32 – Запит пароля під час входу

Під час виконання програми після спрацювання кожного виконавчого механізму формуються відповідні внутрішні маркери, які забезпечують правильну послідовність роботи системи та поетапне вмикання обладнання згідно з технологічним алгоритмом.

Після завершення циклу ці маркери скидаються, що дозволяє запускати наступний виробничий цикл.

Для кожної технологічної операції задано чітко визначений час роботи обладнання або виконавчих пристроїв. Це дозволяє зменшити загальну вартість системи, оскільки відсутня необхідність у додаткових вимірювальних пристроях для контролю кожного етапу. Крім того, робота системи не залежить від можливих відмов допоміжних датчиків.

Розроблене програмне забезпечення для установки переробки ТПВ є прототипом і може бути адаптоване до реального промислового об'єкта після внесення відповідних коригувань параметрів.

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВОК

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено систему автоматизованого управління процесом переробки твердих побутових відходів методом піролізу із застосуванням сучасних технічних засобів та програмного забезпечення. Основним результатом є створення програмної системи керування технологічним процесом, що забезпечує ефективну, стабільну та безпечну роботу обладнання.

Було проведено аналітичний огляд сучасного стану проблеми переробки твердих побутових відходів. Розглянуто основні методи утилізації, зокрема захоронення, компостування, термічну та плазмову переробку. У результаті аналізу встановлено, що метод високотемпературного піролізу є найбільш доцільним з екологічної та економічної точок зору, оскільки дозволяє зменшити обсяг відходів, знешкодити небезпечні речовини та отримати корисні енергетичні продукти, такі як синтез-газ і піролізне масло.

Розроблено технологічну та функціональну схеми процесу переробки ТПВ методом піролізу. Технологічна схема відображає повний цикл обробки відходів: від подачі у бункер і термічного розкладання в реакторі до очищення газоподібних продуктів та їх розділення на корисні компоненти. Функціональна схема визначає структуру автоматизації, включаючи системи контролю, регулювання та керування технологічними параметрами. Також обґрунтовано застосування ПІ-регулятора для підтримання необхідної температури в реакторі, що забезпечує потрібну точність і стабільність процесу, та розроблено систему автоматичного регулювання температури.

Здійснено розробку програмного забезпечення системи управління. Проведено вибір програмованого логічного контролера з урахуванням співвідношення ціни та технічних характеристик, у результаті чого обрано контролер OWEN PLC 154-220 А-М. Побудовано трирівневу структуру системи автоматизації: нижній рівень представлений датчиками та

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

виконавчими механізмами, середній — ПЛК, а верхній — автоматизованим робочим місцем оператора. Програму реалізовано в середовищі CoDeSys із використанням мови структурованого тексту, що забезпечує гнучкість та надійність керування. Розроблено алгоритм роботи системи, який охоплює всі стадії процесу — від подачі відходів до отримання кінцевих продуктів, а також передбачає аварійні режими роботи.

Результати роботи мають практичне значення, оскільки розроблена система може бути адаптована до реальних підприємств з переробки твердих побутових відходів. Вона дозволяє підвищити ефективність технологічного процесу, забезпечити стабільність температурних режимів, зменшити вплив людського фактора та покращити екологічні показники виробництва. Запропонована система є прототипом сучасного автоматизованого комплексу, який може бути впроваджений із урахуванням специфіки конкретного об'єкта.

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Матвеев Ю.Б., Гелетука Г.Г. Перспективи енергетичної утилізації твердих побутових відходів в Україні Аналітична записка БАУ № 22. Біоенергетична асоціація України, 2019 – 48 с. Режим доступу: <https://uabio.org/materials/uabio-analytics/>
2. Закон України Про управління відходами. (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2023, № 17, ст.75).
3. Білявський, О. О. (2023). Проблеми утилізації твердих побутових відходів в Україні та методи їх вирішення. Стратегія економічного розвитку України, 52, 72–83. Режим доступу: <https://doi.org/10.33111/sedu.2023.52.072.083>
4. Ремез Н.С. С-83 Стратегічні підходи до вирішення проблеми побутових відходів: монографія / Н.С. Ремез, А.О. Дичко, С.Л. Шмарін, С.О. Крайчук, Н.О. Остапчук. – Рівне: Волин. обереги, 2023. – 460 с.
5. Стратічук Н.В. Проблема накопичення відходів та оптимізація шляхів поводження з ними. // Екологія, іхтіологія та аквакультура. Таврійський науковий вісник № 111. С 285-291. Режим доступу: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.111.38>
6. Гловацька О.В., Вовченко Н.О. Відходи – актуальна проблема сучасності. Навчально - методичний посібник – Вінниця, 2012 р. – 26ст. Режим доступу: <https://nmc.dsns.gov.ua/upload/1/1/8/9/0/vidxodi-aktualna-problema-sucasnosti.pdf>
7. Yankovs'ka, L., & Novyts'ka, S. (2020). Проблеми та перспективи поводження з твердими побутовими відходами в тернопільській області. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: географія, 48(1). Режим доступу: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.20.1.18>

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

8. Гринчишин Н.М. Аналіз системи управління твердими побутовими відходами в Україні. // Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми утилізації та рекуперації відходів». 14 червня 2023 року. Дубляни. 2023. Режим доступу:

https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/12077/1/%D0%93%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%87%D0%B8%D1%88%D0%B8%D0%BD_1.pdf.

9. Проблеми державного регулювання у сфері поводження з відходами та шляхи їх вирішення. [Електр. ресурс]. Режим доступу:

<http://www.niss.gov.ua/articles/1386/>

10. Управління відходами в Україні [Електр. ресурс]. Режим доступу:

http://ekospha.org/wpcontent/uploads/2018/02/Ukraine_Newsletter_01_ukr.pdf

11. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні у 2021 році. Міністерство розвитку громад та територій України : вебсайт. Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/napryamkidiyalnosti/zhkh/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2021-rik/> .

12. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 08.11.2017 р. № 820. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/820-2017-p>

13. Sivakumar Babu G.L. Evaluation of Municipal Solid Waste Characteristics of a Typical Landfill in Bangalore. Bangalore, India, India Institute of Science, 2012. Available at: <http://cistup.iisc.ernet.in/presentations/Research>

14. Із третього світу в перший. Реформа управління відходами в Україні. Режим доступу:

<https://www.pwc.com/ua/en/survey/2020/wastemanagement.pdf>

15. ДБН в.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» Режим доступу:

<https://www.minregion.gov.ua/wpcontent/uploads/2017/03/DBN-V.2.4-2-2005.pdf>

16. Гринчишин Н.М. Властивості фільтрату, утвореного після припинення експлуатації полігона твердих побутових відходів. Вісник

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ЛДУБЖД. 2019. С. 122–127. Режим доступу:
<https://doi.org/10.32447/20784643.19.2019.14>

17. Шмарін С. Помісячна зміна морфологічного складу, калорійності, вологості і зольності ТПВ / Шмарін С., Лучко І. // Геоекологія і охорона праці. – 2011. – №11. – С. 136–143.

18. Hrebeniuk T.V., Dychko A.O., Bronytskyi V.O. Modelling of process of adsorption at wastewater treatment from phenol. Екологічні науки: науково-практичний журнал. 2019. Випуск 1(24). Т. 2 С. 5-7. Режим доступу: DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-1>.

19. Markina, Liudmyla & M.I, Філатова. (2021). Аналіз можливості застосування термічних методів для утилізації ТПВ. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/356052364_analiz_mozlivosti_zastosuvanna_termicnih_metodiv_dla_utilizacii_TPV

20. Butenko O., Demidenko V., Brunetkin O. The method of identifying the composition of gaseous fuel. Modern Trends in Science: proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. 2018. P. 39-40.

21. Butenko O., Demydenko V., Brunetkin O. The method of identification of the composition of gaseous fuel. Prospective directions of scientific thought proceedings of the international scientific-practical conference. 2018. Volume 5. P. 63-69.

22. Компанія Henan Mingjie Environmental Protection Equipment Co., Ltd. Офіційний сайт. Піроліз твердих відходів. Режим доступу: <https://www.pyrolysismachine.com/uk/solution/>

23. Тарахтій О.С., Бутенко О.В. Імітаційна модель твердих побутових відходів як об'єкта керування / Інформатика, обчислювальна техніка та автоматизація. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 32 (71) Ч. 1 № 2. 2021. – С.235-243.

24. CODESYS Group. Important legal documents of the CODESYS Group. Access Mode: <https://www.codesys.com/the-company/legal-documents/>

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

25. Eaton Corporation plc (NYSE: ETN)/ Програмне забезпечення CODESYS/ Режим доступу: <https://www.eaton.com/ua/uk-ua/catalog/industrial-control--drives--automation---sensors/codesys-software.html>

26. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «Магістр». Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування, спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / А.І. Сегін, Н.Я. Возна, І.Р. Пітух / Під ред. Я.М. Николайчука – Тернопіль: ТНЕУ, 2020.– 40 с.

27. Загальні методичні рекомендації з підготовки, оформлення, захисту та оцінювання кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти першого «бакалаврського» і другого «магістерського» рівнів. // Укладачі: В. М. Островерхов, Л. І. Біловус, К. З. Возьний, О. О. Луцишин, Г. Л. Монастирський, С. В. Питель, С. А. Надвиничний, С. К. Шандрук. Тернопіль: ЗУНУ, 2024. – 89 с.

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ЛИСТИНГ ОСНОВНОЇ ПРОГРАМИ

```

(*PODACHA GYVLENNYA*)
  IF START=TRUE AND STOP=FALSE
  THEN M1:=TRUE;
  ELSE M1:=FALSE;
  END_IF;

(*VYBIR AVTOMATYCHNOGO REZHIMU*)
  IF M1=TRUE AND AUTO=TRUE AND MANUAL=FALSE
  THEN M2_1:=TRUE; M2_2:=FALSE;
  ELSE M2_1:=FALSE;
  END_IF;

(*VYBIR RUCHNOGO REZHIMU*)
  IF M1=TRUE AND AUTO=FALSE AND MANUAL=TRUE
  THEN M2_2:=TRUE;
  M2_1:=FALSE;
  ELSE M2_2:=FALSE;
  END_IF;

(*VKLYUCHENIE PODACHI TBO V BUNKER*)
  IF (M2_1 AND D1 AND D2=FALSE AND M5=FALSE) OR (
  VKL_P_BUNKER
  AND M2_2)
  THEN P_BUNKER:=TRUE;
  M3:=TRUE;
  M17:=FALSE;
  T1(IN := FALSE, PT:= T#5s);
  ELSE P_BUNKER:=FALSE;
  END_IF;

(*VKLYUCHENIE PODACHI TBO V REACTOR*)
  IF (M2_1 AND D2=TRUE AND D1=FALSE AND M3 AND
  M5=FALSE AND
  M6=FALSE AND M7=FALSE AND M8=FALSE
  AND M9=FALSE AND M10=FALSE AND M11=FALSE AND
  M12=FALSE
  AND M13=FALSE AND M14=FALSE
  AND M15=FALSE AND M16=FALSE) OR ( VKL_P_REACTOR
  AND M2_2)
  THEN P_REACTOR:=TRUE;

```

```

M4:=TRUE;
T2(IN := FALSE, PT:= T#10s);
ELSE P_REACTOR:=FALSE;
END_IF;
T1(IN := M4, PT:= T#5s);
T1;

```

(*POCHATKOVE VKLYUCHENYA PLAZMOTRONIV*)

```

IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND T1.Q AND M6=FALSE AND
M7=FALSE
AND M8=FALSE
AND M9=FALSE AND M10=FALSE AND M11=FALSE AND
M12=FALSE
AND M13=FALSE AND M14=FALSE
AND M15=FALSE AND M16=FALSE) OR ( VKL_PL AND M2_2)
THEN PL1:=80;
PL2:=80;
PL3:=80;
PL4:=80;
M5:=TRUE;
T2(IN := TRUE, PT:= T#10s);
T2;
END_IF;
IF T2.Q=FALSE THEN T5(IN:=FALSE, PT:=T#20s);
END_IF;

```

(*REGULUVANNYA TEMPERATURE*)

```

IF M1 AND M3 AND M4 AND M5 AND T2.Q AND M7=FALSE
AND
M8=FALSE
AND M9=FALSE AND M10=FALSE AND M11=FALSE AND
M12=FALSE
AND M13=FALSE AND M14=FALSE
AND M15=FALSE AND M16=FALSE
THEN PID_TEMPERATURA_BOTTOM11();
PID_TEMPERATURA_BOTTOM22();
PID_TEMPERATURA_TOP11();
PID_TEMPERATURA_TOP22();
M6:=T5.Q;
PL1:=PID_TEMPERATURA_BOTTOM11.POWER;
PL2:=PID_TEMPERATURA_BOTTOM22.POWER2;
PL3:=PID_TEMPERATURA_TOP11.POWER3;
PL4:=PID_TEMPERATURA_TOP22.POWER4;
T5(IN := TRUE, PT:= T#20s);

```

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		64

```

T5;
END_IF;
IF T5.Q=FALSE THEN T6(IN := FALSE, PT:= T#10s);
END_IF;

```

(*VKLYUCHENIE KAMERY DOPALU*)

```

IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M8=FALSE
AND M9=FALSE AND M10=FALSE AND M11=FALSE AND
M12=FALSE
AND M13=FALSE AND M14=FALSE
AND M15=FALSE AND M16=FALSE) OR ( VKL_REHEAT AND
M2_2)
THEN REHEAT:=TRUE;
T6(IN := TRUE, PT:= T#10s);
T6;
M7:=TRUE;
END_IF;
IF T6.Q THEN T7(IN := FALSE, PT:= T#5s);
END_IF;

```

(*VKLYUCHENYA VENTYLYATORA*)

```

IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND
T6.Q=FALSE
AND M9=FALSE
AND M10=FALSE AND M11=FALSE AND M12=FALSE AND
M13=FALSE
AND M14=FALSE
AND M15=FALSE AND M16=FALSE) OR ( VKL_FAN AND
M2_2)
THEN FAN1:=TRUE;
REHEAT:=FALSE;
M8:=TRUE;
T7(IN := TRUE, PT:= T#5s);
T7;
END_IF;
IF T7.Q THEN T8(IN := FALSE, PT:= T#10s);
END_IF;

```

(*OCHISTKA V VIHREVOMU SKRUBBERE*)

```

IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M8
AND
T7.Q=FALSE
AND M10=FALSE AND M11=FALSE AND M12=FALSE AND

```

					ДП.АКИТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		65

```

M13=FALSE
AND M14=FALSE
AND M15=FALSE AND M16=FALSE) OR ( VKL_V_SCRUB
AND M2_2)
THEN T8(IN := TRUE, PT:= T#10s);
T8;
M9:=TRUE;
V_SCRUB:=TRUE;
FAN1:=FALSE;
END_IF;
IF T8.Q THEN T9(IN := FALSE, PT:= T#5s);
END_IF;

```

(*VKLYUCHENYA VENTYLYATORA*)

```

IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M9
AND
T8.Q=FALSE AND M11=FALSE
AND M12=FALSE AND M13=FALSE AND M14=FALSE AND
M15=FALSE
AND M16=FALSE)
OR ( VKL_FAN AND M2_2)
THEN FAN1:=TRUE;
V_SCRUB:=FALSE;
T9(IN := TRUE, PT:= T#5s);
T9;
M10:=TRUE;
END_IF;
IF T9.Q THEN T10(IN := FALSE, PT:= T#10s);
END_IF;

```

(*OCHYSTKA V ELECTROFILTRI*)

```

IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M9
AND M10
AND T9.Q=FALSE
AND M12=FALSE AND M13=FALSE AND M14=FALSE AND
M15=FALSE
AND M16=FALSE)
OR ( VKL_ELECTROFILTER AND M2_2)
THEN ELECTROFILTER:=TRUE;
T10(IN:=TRUE, PT:=t#10S);
T10;
M11:=TRUE;
FAN1:=FALSE;
END_IF;

```

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		66

```

IF T10.Q THEN T11(IN := FALSE, PT:= T#5s);
END_IF;

```

(*VKLYUCHENYA VENTYLYATORA*)

```

IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M9
AND M10
AND M11 AND T10.Q=FALSE
AND M13=FALSE AND M14=FALSE AND M15=FALSE) OR (
VKL_FAN
AND M2_2)
THEN FAN1:=TRUE;
ELECTROFILTER:=FALSE;
T11(IN := TRUE, PT:= T#5s);
T11;
M12:=TRUE;
END_IF;
IF T11.Q THEN T12(IN := FALSE, PT:= T#10s);
END_IF;

```

(*OCHYSTKA V SANITARNOMU SKRUBBERI*)

```

IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M9
AND M10
AND M11 AND M12
AND T11.Q=FALSE AND M14=FALSE AND M15=FALSE
AND
M16=FALSE) OR ( VKL_S_SCRUB AND M2_2)
THEN S_SCRUB:=TRUE;
T12(IN := TRUE, PT:= T#10s);
T12;
M13:=TRUE;
FAN1:=FALSE;
END_IF;
IF T12.Q THEN T13(IN := FALSE, PT:= T#5s);
END_IF;

```

(*VKLYUCHENYA VENTYLYATORA*)

```

IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M9
AND M10
AND M11
AND M12 AND M13 AND T12.Q=FALSE AND M15=FALSE
AND
M16=FALSE) OR ( VKL_FAN AND M2_2)
THEN FAN1:=TRUE;
S_SCRUB:=FALSE;

```

					ДП.АКИТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		67

```

T13(IN := TRUE, PT:= T#5s);
T13;
M14:=TRUE;
END_IF;
IF T13.Q THEN T14(IN := FALSE, PT:= T#10s);
END_IF;

```

(*ROBOTA KONDENSATORA*)

```

IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M9
AND M10
AND M11
AND M12 AND M13 AND M14 AND T13.Q=FALSE AND
M16=FALSE) OR (
VKL_CONDENSER AND M2_2)
THEN CONDENSER:=TRUE;
T14(IN := TRUE, PT:= T#10s);
T14;
M15:=TRUE;
FAN1:=FALSE;
END_IF;

```

(*SKYD SHLAMA CHEREZ LETKU*)

```

IF (M2_1 AND M3 AND M4 AND M5 AND M6 AND M7 AND M9
AND M10
AND M11 AND M12
AND M13 AND M14 AND M15 AND T14.Q=FALSE) OR
(VKL_OPEN_HATCH AND M2_2)
THEN OPEN_HATCH:=TRUE;
CONDENSER:=FALSE;
T15(IN:=OPEN_HATCH, PT:=T#10S);
T15;
M16:=T15.Q;
END_IF;

```

(*SKYD MARKERIV*)

```

IF M16=TRUE THEN
M3:=FALSE;M4:=FALSE;M5:=FALSE;M6:=FALSE;M7:=FALSE;
M8:=FALSE;
M9:=FALSE;
M10:=FALSE; M11:=FALSE; M12:=FALSE; M13:=FALSE;
M14:=FALSE;
M15:=FALSE; M17:=TRUE;
END_IF;
IF M17 THEN
T15(IN:=FALSE, PT:=T#10S); M16:=FALSE;

```

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		68

```

OPEN_HATCH:=FALSE;
END_IF;

```

```

(*AVARIYNA ZUPYNKA*)

```

```

IF STOP=TRUE THEN
P_BUNKER:=FALSE;
P_REACTOR:=FALSE;
REHEAT:=FALSE;
S_SCRUB:=FALSE;
ELECTROFILTER:=FALSE;
FAN1:=FALSE;
V_SCRUB:=FALSE;
CONDENSER:=FALSE;
OPEN_HATCH:=FALSE;
PL1:=0;
PL2:=0;
PL3:=0;
PL4:=0;
M3:=FALSE;M4:=FALSE;M5:=FALSE;M6:=FALSE;
M7:=FALSE;M8:=FALSE;M9:=FALSE;M10:=FALSE;
M11:=FALSE; M12:=FALSE; M13:=FALSE;
M14:=FALSE; M15:=FALSE; M16:=FALSE;
T1(IN:=FALSE, PT:=T#5S);
T2(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
T5(IN:=FALSE, PT:=T#20S);
T6(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
T7(IN:=FALSE, PT:=T#5S);
T8(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
T9(IN:=FALSE, PT:=T#5S);
T10(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
T11(IN:=FALSE, PT:=T#5S);
T12(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
T13(IN:=FALSE, PT:=T#5S);
T14(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
T15(IN:=FALSE, PT:=T#10S);
END_IF;

```

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		69

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

					ДП.АКІТ.10658710.00.00.000.ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		