

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНИКИ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Комп'ютерно-інтегрована система керування технологічним процесом
переробки відходів пластмас»

«Computer-integrated control system for the technological process of waste plastics
processing»

Виконав: студент 6 курсу, групи 6А
спеціальності 174 – «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»
освітньо-професійної програми –
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»

Назмєєв І.О.

Керівник: к.т.н., доцент Лебеденко Ю.О.

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Херсон – 2024 рік

Херсонський національний технічний університет

Факультет

Інженерії та транспорту

Кафедра

Автоматизації, робототехніки і мехатроніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень

магістр

Спеціальність

174 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка"

Освітньо-професійна програма

«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри автоматизації,
робототехніки і мехатроніки

Селіверстов І.А.

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Назмєєву Іллі Олеговичу

1. Тема проекту: Комп'ютерно-інтегрована система керування технологічним процесом переробки відходів пластмас
Computer-integrated control system for the technological process of waste plastics processing
керівник проекту: к.т.н., доцент Лебеденко Ю.О.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 28.08.2024 р. № 375-с

2. Строк подання студентом проекту «10» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до проекту: Дослідити методи та засоби автоматизації керування технологічним процесом переробки відходів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки 1) Аналіз технологічного процесу; 2) Математична модель процесу плавлення пластикових відходів; 3) Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування технологічним процесом переробки відходів пластмас

5. Перелік графічного матеріалу 1) Характеристики регулятора мик-22
2) Програма контролера; 3) Прикидочний розрахунок показників безвідмовності; 4) Орієнтований розрахунок показників безвідмовності; 5) Графік ймовірності безвідмовної роботи блока

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Лебеденко Ю.О., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____ « 28 » серпня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературний огляд	15.09.24	
2	Аналіз сучасних підходів до автоматизації процесів переробки пластикових відходів	25.10.24	
3	Розробка прототипу системи керування процесом плавлення пластикових відходів	01.11.24	
4	Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування технологічним процесом переробки відходів пластмас	15.11.24	
5	Обробка результатів	20.11.24	
6	Висновки по роботі	25.11.24	
7	Оформлення ПЗ і креслень	05.12.24	

Студент

Назмєєв І.О.

(підпис)

Керівник проекту

Лебеденко Ю.О.

(підпис)

.

РЕФЕРАТ

Дипломний проект: 82 сторінка, 21 рисунків, 8 таблиць, 6 додатків.

У дипломному проекті проведено аналітичний огляд технологічного процесу переробки пластикових відходів. Розроблено функціональну схему автоматичного регулювання температури плавлення та температури води у ванні миттєвого охолодження в рамках процесу переробки пластикових відходів.

Використовуючи залежність вихідного сигналу від вихідних параметрів об'єкта регулювання та застосовуючи ЕОМ з програмою MATHCAD, була розроблена математична модель об'єкта. Обрано мікропроцесорний регулятор, визначено закон керування та налаштовано параметри регулятора для оптимальної роботи системи.

Проаналізовано методи і засоби вимірювання температури плавлення та води в ванні миттєвого охолодження під час переробки поліамідів і поліетилену, а також електротехнічні пристрої та засоби автоматизації. Обрано прилади для забезпечення точності та ефективності контролю температури.

РЕГУЛЯТОР, ТЕМПЕРАТУРА, ДАТЧИК, ПЕРЕДАТОЧНА ФУНКЦІЯ, МІКРОПРОЦЕСОР

					ХНТУ151.КРМ.23.01 РФ			
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	Реферат	Літ.	Лист	Аркушів
Розроб.	Фролов О.Ю.						1	3
Перевір.	Лебеденко							
Реценз.								
Н. Контр.	Сарафанніко							
Затверд.	Дмитрієв					ХНТУ, гр.63А		

THE ABSTRACT

The degree project: 82 pages, 21 figures, 8 tables, 6 appendices.

The diploma project includes a review of the latest advancements in the technological process of plastic waste processing. It also presents a functional diagram for the automatic control of heating temperature and water temperature in the rapid cooling bath during the plastic waste processing process.

Using the dependence of the output signal on the initial parameters of the controlled object and employing the MATHCAD program, a mathematical model of the object has been developed. A microprocessor controller has been selected, and the control law and regulator tuning have been defined.

An analysis of methods and tools for measuring the melting temperature and water temperature in the rapid cooling bath during the processing of waste, as well as electrical devices and automation tools, has been conducted. Instruments have been selected for the implementation of the control system.

REGULATOR, TEMPERATURE, SENSOR, TRANSMISSION FUNCTION,
MICROPROCESSOR.

					XHTY151.KPM.23.01 PΦ	Лист
						2
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ	8
1.1 Опис технічних процесів переробки пластикових відходів.	8
1.2 Метод переробки відходів у автоклаві.....	18
1.3 Проблеми автоматизації процесу переробки відходів поліамідів і поліетилену.	20
1.4. Висновок до розділу 1.....	21
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПЛАВЛЕННЯ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ.....	22
2.1. Одержання математичного опису об'єкту управління.....	23
2.2. Опис рівнянь динаміки циліндру литтєвої машини	25
2.2.1. Вибір каналів управляючого впливу.....	28
2.2.2. Знаходження математичної моделі експериментальним методом. .	29
2.3. Синтез САР.....	34
2.3.1. Вибір структурної схеми САР.	35
2.3.2. Вибір закону регулювання.	37
2.3.3. Моделювання роботи САР.....	39
2.4 Висновок до розділу 2	40
3 РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ПЛАСТМАС ..	42
3.1 Огляд існуючих рішень	42
3.1.1 Способи та інструменти для вимірювання температури	42
3.1.2 Автоматична система контролю температури	49
3.1.3 Опис функціональної схеми мікропроцесорного контролера переробки пластикових відходів	58

3.1.4 Опис обраної SCADA-системи	62
3.1.5 Розробка екранних форм для управління установкою	64
3.2 Висновок до розділу 3	66
ВИСНОВОК	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69
ДОДАТОК А	71
ДОДАТОК Б	74
ДОДАТОК В	75
ДОДАТОК Г	76
ДОДАТОК Д	77
ДОДАТОК Е	78

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АЛУ – арифметико-логічний пристрій;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
БЛ – блок логіки;
БРТ – блок регулювання струму;
БРС – блок регулювання швидкості;
БС – блок силовий;
ГОСТ – державний стандарт;
БУ – блок управління;
ЕСКД – Єдина Система Конструкторської Документації;
ДП – дипломний проект;
МК – мікроконтролер;
МП – мікропроцесор;
ОУ – об'єкт управління;
ОЗП – оперативний запам'ятовувачий пристрій;
ПЗ – записка пояснення;
ПЗП – пристрій, що постійно запам'ятовує;
ПК – персональний комп'ютер;
СНИП – Будівельні Норми і Правила;
ПЕ – перелік елементів;
СС – схема синхронізації;
ВУС – пристрій сполучення;
УУ – електронно-обчислювальна машина;
ША – шина адреси;
ШД – шина даних;
ШИМ – широтно-імпульсна модуляція;
ЕОМ – пристрій управління;

ВСТУП

Автоматизація виробництва охоплює комплекс заходів, спрямованих на розробку нових прогресивних технологічних процесів і проектування на їх основі високопродуктивного обладнання, яке виконує основні та допоміжні операції без участі людини. Під комплексною автоматизацією зазвичай розуміють автоматизацію багатоопераційних технологічних процесів і створення систем машин, які перевищують можливості окремих процесів і навіть стадій виробництва.

Автоматизацію часто розглядають як заміщення людських функцій технічними засобами та системами управління, що ототожнюється з впровадженням автоматизації. В такому випадку передбачається, що технічна експлуатація, конструкція та розташування машин залишаються здебільшого незмінними. Однак це не відповідає дійсності. Виробничий процес є основою діяльності, в ньому закладаються всі потенційні можливості щодо якості продукції, обсягу випуску та ефективності праці. Системи управління (від ручних до автоматизованих і самоорганізованих) є лише однією з форм реалізації цих можливостей. Отже, автоматизація виробництва є складним конструкторським і технологічним завданням, що передбачає створення нового обладнання, високоінтенсивних процесів та ефективних засобів праці, які неможливо виконати безпосередньо людиною.

На сучасному етапі розвитку науки та техніки основною формою виробництва стає комплексно автоматизоване виробництво. Нові неавтоматизовані технологічні процеси та обладнання слід розглядати як часткові, вимушені рішення, коли в певних умовах виробництва ще не сформувалися технічні та економічні передумови для автоматизації.

Для автоматичного керування технологічним обладнанням і координації ходу технологічного процесу використовують різноманітні засоби автоматизації. Автоматизація управління технологічними процесами охоплює виконавчі

					ХНТУ151.КРМ.23.01 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		6

механізми, що забезпечують безпосереднє управління без участі людини. Системи автоматичного управління складаються з механізмів і пристроїв, які гарантують точну та синхронізовану взаємодію робочих і допоміжних вузлів та агрегатів за заздалегідь визначеною програмою.

Метою цього дипломного проекту є розробка системи автоматичного керування процесом переробки пластикових відходів.

					ХНТУ151.КРМ.23.01 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ

1.1 Опис технічних процесів переробки пластикових відходів.

У цій роботі розроблено систему автоматичного керування температурою розплаву та температурою води в резервуарах миттєвого охолодження під час переробки відходів поліаміду та поліетилену.

Виробництво пластмас є однією з найбільш динамічно розвиваються галузей промисловості. З ростом виробництва та споживання пластмас збільшується і кількість відходів.

Під час виготовлення виробів з термопластичних та термореактивних пластмас методами лиття під тиском, пресування та вакуумного формування утворюються як зворотні, так і незворотні відходи. До незворотних відходів належать газоподібні викиди (продукти деструкції полімерів), втрати під час транспортування та втрати під час механічної обробки виробу. Зворотні відходи — це продукція, яка не відповідає специфікації або не пройшла випробування, отримана під час введення в експлуатацію.

Після переробки (або подрібнення, або гранулювання) зворотні відходи використовують або для виробництва того ж продукту як добавку до вихідної сировини (10-15%), або для виготовлення некритичних компонентів, якщо це дозволяють технічні умови.

Зазвичай безповоротні відходи становлять 4-5% від обсягу готової продукції. Зворотні відходи складають у середньому до 10% від обсягу готової продукції, залежно від сировини, що переробляється, і вимог до готового виробу. Якщо відходи використовуються для виробництва того ж продукту, вони мають бути перероблені безпосередньо у формувальній машині, а подрібнені відходи додаються до вихідної сировини.

При інтенсивній переробці відходів рекомендується подрібнювати їх у роторній дробарці типу ИПР-150 і ИПР-300 з подальшим гранулюванням.

Відходи можна поділити на дві основні групи залежно від їх джерела: відходи виробництва та відходи споживання.

До першої групи відносяться відходи, які утворюються під час виробництва та переробки полімерів. Це злитки і фрагменти полімерів, виливки, брухт та бракована продукція. Відходи переробки термопластів повністю використовуються як вторинна сировина для полімерів. Дрібні злитки, що виникають під час синтезу полімерів, також переробляються у вторинну сировину.

До другої групи відносяться відходи споживання, які діляться на технічні (промислові) та побутові (загальні). Технічні відходи включають деталі, що втратили свої первісні властивості в процесі експлуатації, такі як шестерні, втулки, важелі, радіотехнічні вироби, ізоляція проводів, теплоізоляція, будівельна арматура. Побутові відходи — це вироби, які втратили свій споживчий вигляд, наприклад, тара та упаковка, плівки, деталі меблів тощо. Визначити належність відходів до певної категорії може бути складно. Технічні відходи складаються з різноманітних термопластів, серед яких домінують поліолефіни (55-62%), стирольні пластики (18-28%) та полівінілхлорид (6-11%).

Утилізація відходів, що утворюються під час переробки термопластів у вироби, не є складною. Однак ще однією проблемою є переробка побутових відходів. У цьому випадку виникають труднощі зі збором відходів та поділом різних видів пластику. Тому зусилля, витрачені на переробку побутових відходів, не завжди виправдовуються, і часто застосовується їх спалювання з подальшою рекуперацією тепла.

Слід зазначити, що деякі пластикові відходи закопуються в землю, не проходячи жодної переробки. Розроблено різні методи зберігання неперероблених пластикових відходів, зокрема на полігонах з розрахунковим терміном служби

менше 25 років. За цей час пластикові відходи повністю руйнуються і не становлять загрози для навколишнього середовища.

У промисловості широко використовуються композиції з відходів термопластів як сполучні, змішані з різними наповнювачами (наприклад, деревними відходами, паперовими ламінованими пластиками, скловолокном тощо). Відходи полістирольних пластиків змішують з деревними відходами і пресують для отримання плит, що використовуються у виробництві будівельних та меблевих деталей. Крім того, активно використовуються композиції з відходів АБС-пластику і смол для паперового ламінату, які виробляються шляхом холодного змішування компонентів у високошвидкісному змішувачі та подальшої екструзії. Гранули переробляються методом лиття під тиском у вироби, що не мають конкретного призначення.

Відходи термопластів також можуть використовуватися як модифікуючі добавки для полімерів. Наприклад, низькомолекулярні відходи поліетилену застосовуються для підвищення еластичності полістирольних пластиків. Так, при додаванні 2% поліетиленових відходів у полістирол його ударна міцність збільшується з 28 кДж/м² до 43 кДж/м².

Полімерні відходи знаходять все більше застосування у виробництві звукоізоляційних плит і панелей, а також герметиків, які використовуються під час будівництва будівель та гідротехнічних споруд. Один із методів виробництва будівельних плит передбачає пресування суміші відходів і піску в співвідношенні 1:1. Пісок просівають, нагрівають до 500°C, додають у суміш відходи, перемішують при 150°C протягом 25 хвилин і пресують масу. За такою технологією можна отримувати композиції з відходів пластмас, крейди, скловолокна, азбесту та інших мінеральних наповнювачів. Відходи полімерів і наповнювачів сушать при 120°C протягом 2 годин, пластифікують у змішувачі при 250-300°C протягом 15 хвилин, потім поміщають у форму при 180°C і пресують. Отриманий матеріал має відмінні характеристики міцності та високу стійкість до стирання, що дозволяє використовувати його як підлогове покриття. Для

поліпшення зовнішнього вигляду складу на стадії змішування додають пігменти, такі як оксид заліза, оксид хрому і жовту крейду.

Будівельні матеріали можна виготовити, змішавши відходи поліетилену або поліпропілену з цементом, розплавивши їх і заливши масу у форму, після чого охолодити. Будівельні деталі, виготовлені таким способом, є довговічними та вогнестійкими.

Композитні матеріали на основі відходів пластмас використовуються для герметизації швів між будівельними панелями, для покриття частин конструкцій, що працюють під водою, а також для виробництва водонепроникних покриттів і герметизуючих стрічок.

Відходи полімерів не можуть бути перероблені в вторинні гранульовані або композитні матеріали через високий ступінь їх забруднення. Це особливо стосується комунальних відходів, де частина пластикових відходів (плівки, пакети та інші види упаковки) має значно вищий рівень забруднення. В таких випадках термічна обробка є найбільш ефективним методом переробки відходів. Забруднені побутові відходи також підлягають термічній обробці.

Методи термічної обробки можна поділити на дві групи: термічну деструкцію полімерів з отриманням твердих, рідких або газоподібних продуктів і спалювання з рекуперацією тепла.

Під час термічної деструкції відходів поліетилену низької щільності утворюються парафіни — парафінові вуглеводні з молекулярною масою 500-8000 і температурою плавлення 80-120°C. Деструкція проводиться в термодеструкторі при температурі 500°C. Технологічна схема охоплює такі етапи: подача відходів в екструдер, плавлення і подача в термодеструктор, руйнування відходів, охолодження продукту в теплообміннику, відділення легких побічних продуктів, фільтрація та усереднення кінцевого продукту в розплаві, вивантаження сформованих шкарпеток. Молекулярну масу продукту можна регулювати, змінюючи температуру та швидкість обертання шнека в зоні екструдера.

Отримані таким чином воски використовуються для просочення паперу, картону та текстилю, для виробництва антикорозійних покриттів, заповнення форм для лиття металів, а також для виготовлення друкарських фарб і різних мазей.

Піроліз передбачає каталітичне термічне розкладання відпрацьованих полімерів при температурах 300-800°C з утворенням низки вуглеводнів, включаючи газоподібне паливо, гас, бензин і мазут. Багато полімерів (наприклад, поліметилметакрилат, полістирол) розкладаються з високим виходом мономерів.

Поліметилметакрилат був першим полімером, який використовувався на практиці для отримання мономерів; піроліз відходів ПММА відбувається при температурі 380-400°C з виходом мономерів до 95%. Технічна схема передбачає подачу подрібнених відходів у бункер, потім у горизонтальний обігрівальний реактор, оснащений шнековими транспортерами, де відбувається піроліз ПММА. Пари мономера конденсуються в холодильнику, після чого мономер відправляється на рафінування та очищення.

Піроліз відходів полістиролу відбувається при температурах 700-800°C, при цьому вихід стирола становить 75-85%. При низькотемпературному піролізі (370°C) вихід знижується до 62%.

Піроліз поліолефінів при температурах 300-360°C дає дуже низькі виходи мономера; один із методів піролізу ПЕНД при 400-450°C та тиску 6,7 кПа дозволяє отримати суміш бензину і гасу з виходом 92%.

Спалювання як метод переробки використовується для обробки відходів, здебільшого побутових, що містять значну кількість пластикових матеріалів (переважно поліетилену, поліпропілену, полістиролу та полівінілхлориду). Теплотворну здатність ПЕ, ПП, ПС і ПВХ можна оцінити в 1,5 кДж/кг.

Спалювання відбувається в топці парогенераторного котла.

Таблиця 1.1

Теплотворна здатність ПЕ, ПП, ПС і ПВХ

Поліетилен	46,5
Поліпропілен	46,2
Полістирол	40,7
Полівінілхлорид	19,0

Деякі пластикові відходи зберігаються в землі, не піддаючись переробці. Розроблені різні методи захоронення неперероблених пластикових відходів, часто на полігонах з розрахунковим терміном служби менше 25 років. Протягом цього часу пластикові відходи повністю руйнуються і не становлять загрози для навколишнього середовища.

Основні технічні схеми управління відходами.

Відходи з пластмаси можуть бути перероблені різними методами. Проте загальна схема їх переробки передбачає такі етапи: попереднє сортування та очищення відходів, дроблення, промивання та сепарація, класифікація за типами пластмаси, сушіння, гранулювання та подальше перероблення гранул у вироби.

Технічна схема переробки пластикових відходів, представлена на рисунку 1.1, виглядає наступним чином: забруднені відходи, що можуть містити гуму, метал, скло тощо, конвеєром 1 подаються до попередньої дробарки 2. Потім подрібнені відходи промиваються і подаються в пневматичний сепаратор 3, де відбувається відділення важких металів. Далі відходи подрібнюються в другій дробарці і проходять через магнітний сепаратор 4, де видаляються залишки металів. Після цього відходи знову промиваються водою та сушаться у відцентровій сушарці 7. Висушені відходи змішуються в турбінному млині 8, щоб уникнути злипання, і подаються в екструдер 9, де перетворюються на таблетки в таблетковому апараті 10. Виробництво вторинних полімерів таким чином є складним і витратним процесом,

який не набув широкого поширення. Зазвичай він використовується для переробки побутових відходів.

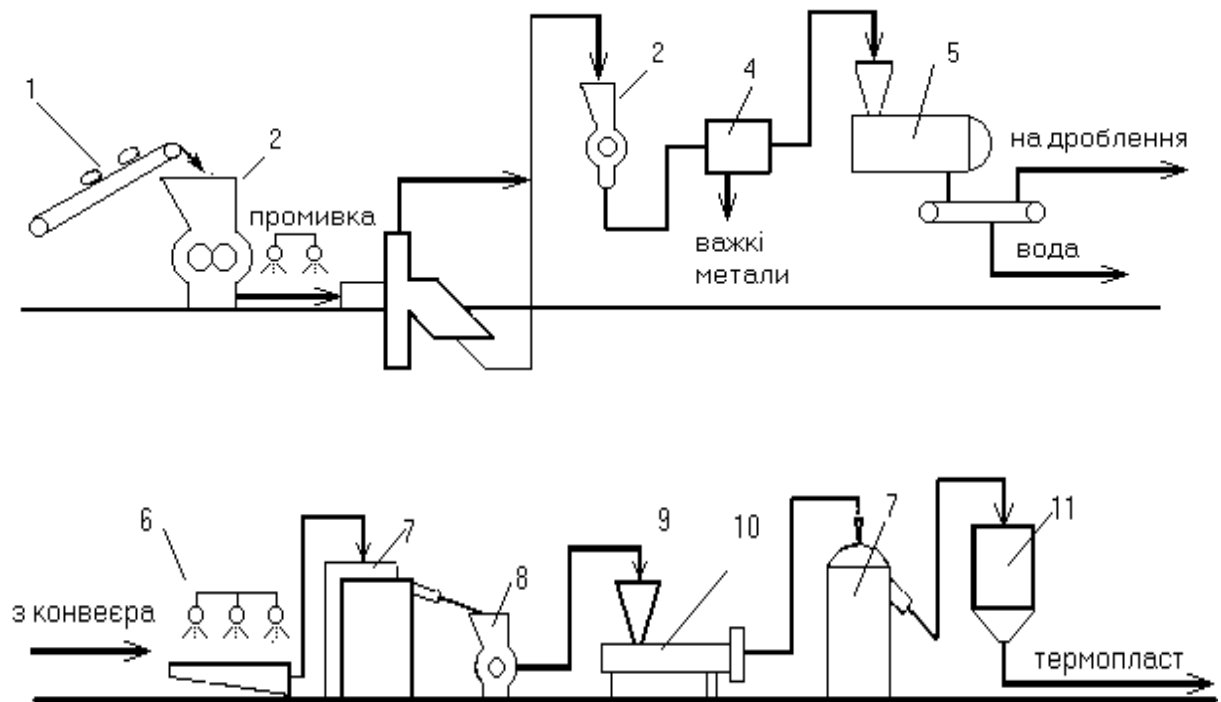


Рис.1.1 Загальна технологічна схема перероблення відходів:

1 — конвеєр для подачі відходів; 2 — дробарка ; 3 — повітряний класифікатор; 4 — магнітний сепаратор; 5 — промивач ; 6 — конвеєр; 7 — відцентрові сушарки; 8 — млин; 9 — екструдер; 10 — таблетуючий пристрій; 11 — бункер для таблеток.

Обробка відходів шляхом дроблення та екструзії.

У процесі подрібнення відходів термопластів, таких як формовані вироби, кромки аркушів, відходи вакуумного формування та браковані вироби, їх подають до дробарки, де вони подрібнюються на дрібні частинки діаметром близько 2 мм. Найпоширенішим типом дробарки є ножова дробарка, в якій дроблення відбувається у вузькому зазорі (0,1–0,5 мм) між нерухомим ножем, встановленим у статорі, і ножем, що обертається на роторі. Технічні характеристики деяких типів

дробарок для пластмас наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Технічні характеристики дробарок для пластмас ножового типу

Модель	Максимальна продуктивність кг/год	Потужність привода, кВт	Діаметр ротора, мм	Частота обертання ротора, об/хв
ИПР-100-1А	60	1	100	1500
ИПР- 150М	150	1,6	150	1300
ИПР- 300М	350	18,5	300	760
ИПР- 450М	1500	27,5	450	700

Для дроблення крихких матеріалів, таких як полістирол та багато реакційних пластмас, ефективними є дробарки, засновані на ударному, ударно-ріжучому та ударно-імпульсному впливі. Промисловість випускає універсальні дробарки та активатори з високою швидкістю удару (до 310 м/с) та кількома рядами ударних елементів, що забезпечують високу продуктивність (від 20 кг/год до 50 т/год) при дробленні полімерів.

Для подрібнення в'язкопружних полімерів, таких як поліаміди, термопластичні поліуретани та фторполімери, все частіше використовуються дробарки з пристроями глибокого охолодження, що дозволяють охолоджувати матеріал до температури, нижчої за температуру крихкості подрібнюваного полімеру. Як охолоджувальну рідину зазвичай використовують рідкий азот з температурою -196°C , що є нижчим за температуру крихкості більшості полімерних матеріалів.

Подрібнення при низьких температурах має кілька переваг. Охолоджувальне та інертне середовище запобігає термічній деструкції полімеру та окисленню продукту.

Отриману на млині крихту часто переробляють у вироби, змішуючи з новим матеріалом.

Також широко використовуються екструзійні методи переробки відходів. На рисунку 1.2 показано принципову схему переробки відходів методом екструзії. Відходи подаються в дробарку 1, після чого подрібнені відходи пневматично подаються в змішувальний бункер 2. Далі, після проходження через магнітний жолоб 3 для відділення металевих домішок, подрібнений матеріал надходить у бункер екструдера 4. Жгутоподібний або стрічкоподібний екструдат охолоджується у ванні 5 і потім розрізається на гранули в грануляторі 6.

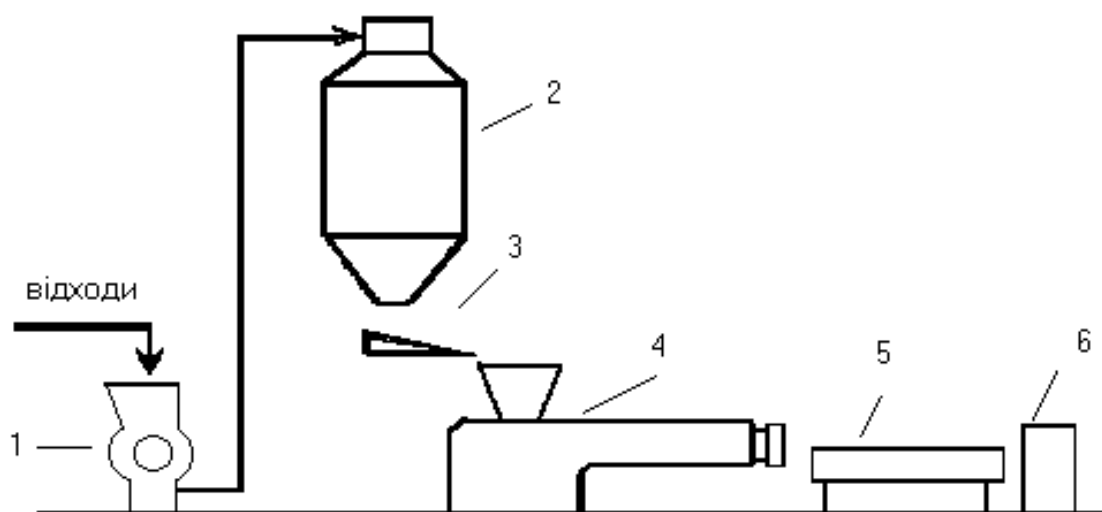


Рис.1.2 Технологічна схема переробки відходів методом екструзії:

1 — дробарка; 2 — бункер; 3 — магнітний жолоб; 4 — екструдер; 5 — охолодна ванна; 6 — гранулятор

Установки для переробки відходів методом екструзії, такі як лінія LGVT9X120, мають продуктивність до 200 кг/год.

Коли відходи плівки та пінопласту з низькою насипною щільністю подрібнюються, їх попередньо ущільнюють. Для цього використовуються,

зокрема, дискові компактори. Дисковий компактор — це гранулятор із фрикційними дисками, один із яких обертається, а інший нерухомий. Тепло, що виділяється під час обертання дисків, призводить до спікання і ущільнення відходів. Після спікання отримана маса подається в ножову дробарку в пачках разом із холодним повітрям.

Для переробки відходів полімерної плівки використовують комбіновану лінію продуктивністю 115 кг/год, що включає подрібнення відходів, ущільнення та подальшу грануляцію (рис. 1.3). Подрібнення відбувається в ножовій роторній дробарці з трьома секціями роторів, після чого подрібнені відходи пневматично подаються через дозувальний живильник до закритого конусного шнекового екструдера з грануляційною головкою, де після охолодження матеріал подрібнюють у гранули розміром 3х4 мм.

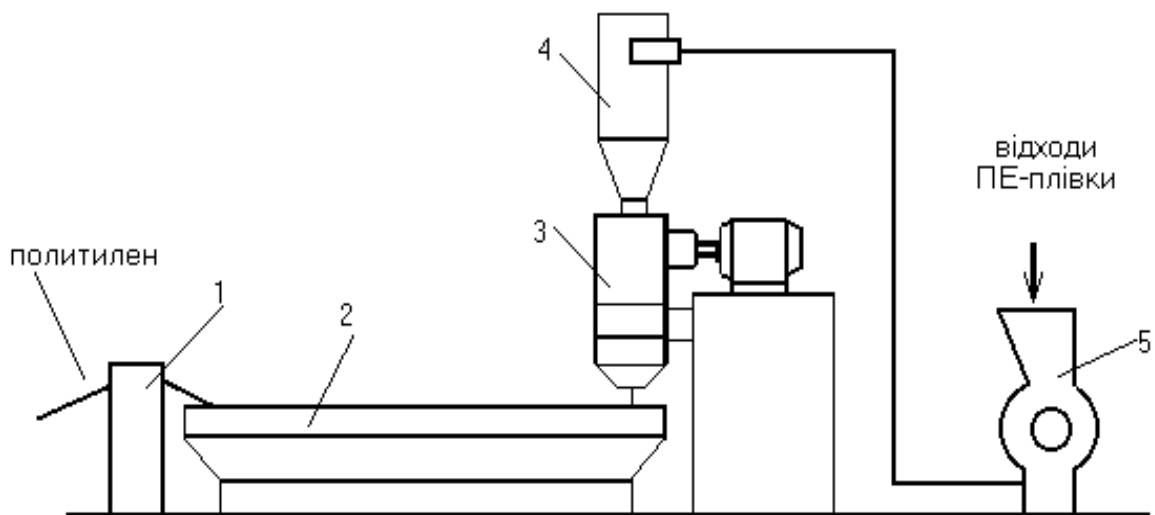


Рис. 1.3 Технологічна схема переробки відходів поліетиленової плівки:

1 — гранулятор; 2 — охолодна ванна; 3 — екструдер;
4 — бункер; 5 — дробарка відходів.

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ХНТУ151.КРМ.23.01 ПЗ

Лист

17

1.1 Перероблювання відходів вальцово-каландровим способом.

Цей метод дозволяє переробляти відходи термопластів без попереднього сортування. Під час процесу матеріал прокочується і каландрується для отримання плит і листів, які можуть бути використані для виготовлення лінолеуму, контейнерів та меблів. Успішна пластикація і гомогенізація матеріалу дозволяють досягти високих характеристик міцності у кінцевому продукті. Як приклад можна навести переробку шлангів для відходів і різноманітних прокладок з пластифікованого ПВХ (наприклад, дверних ущільнювачів для побутових холодильників). Зразки продукту подаються на вальці, де вони пластикаються та гомогенізуються протягом 20-30 хвилин. Під час переробки низькопластифікованих відходів температура робочих валків становить 160°C, допоміжних — 150°C, а для високопластифікованих відходів — 120°C і 115°C відповідно, з коефіцієнтом тертя від 1,25 до 1,30. Отримані листи використовуються для виготовлення плиток для підлоги.

1.2 Метод переробки відходів у автоклаві.

Цей метод використовується для переробки відпрацьованих поліамідних і поліетиленових виробів, плутанки, брухту та інших відходів прядильних, трикотажних і швейних виробництв, що використовують поліамідні волокна, тканини, полімерні злитки, фрагменти, виливки та браковані вироби.

Автоклави являють собою вертикальні циліндричні пристрої з сорочкою для охолоджувальної рідини (суміш дифенілу та оксиду дифенілу), яка підтримує температуру розплаву на рівні близько 250°C. Для запобігання руйнуванню поліаміду, плавлення проводиться під азотом.

Над автоклавом встановлюється плавильна решітка. Коли поліамід стикається з решіткою, він починає плавитися і занурюється в шлам. Температура в шламі підтримується постійною, щоб розплав не остигав. Зібраний розплав

подається з бурового розчину через нагнітальний насос у фільтрувальну установку та проштовхується через фільтр.

Фільтр є блоком, що містить сітки з різним розміром комірок. Між сітками насипається графітовий пісок, що необхідно для очищення від залишків розплаву. Швидкість дозуючого насоса, який проганяє розплав через набір фільтрів, залежить від діаметра фільтра і є постійною протягом часу.

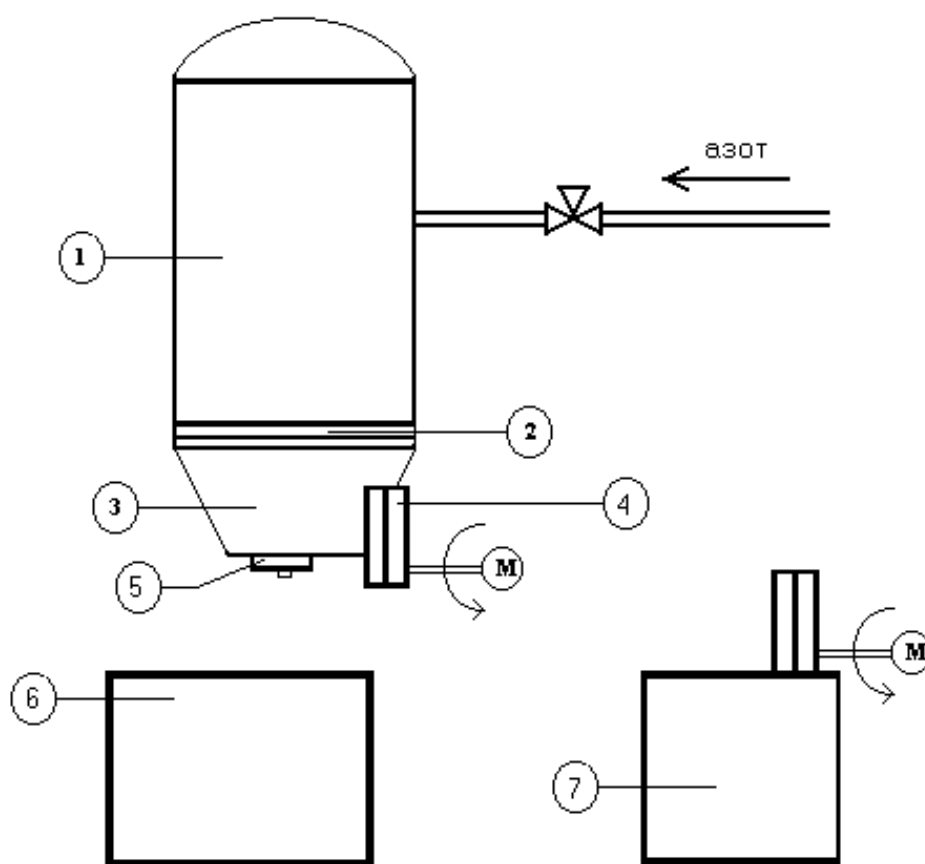


Рис.1.4. Технологічна схема переробки відходів автоклавним методом:

1 — автоклав; 2 — плавильні ґрати; 3 — топка; 4 — дозуючий насос; 5 — фільт'єрний комплект; 6 — охолодна ванна; 7 — дробарка.

Розплавлений поліамід потрапляє у ванну миттєвого охолодження, де знаходиться вода з температурою, що підтримується в межах $+4...+6^{\circ}\text{C}$. Це необхідно для повного остигання сформованої нитки. Після затвердіння нитка

подається до дробарки, де її розрізають на крихту. Швидкість дробарки залишається постійною протягом усього процесу.

Отриманий вторинний поліамід можна використовувати для виробництва без змішування з вихідним матеріалом. Принципова схема установки для переробки відходів автоклавним методом показана на рисунку 1.4.

1.3 Проблеми автоматизації процесу переробки відходів поліамідів і поліетилену.

Технічний процес переробки відходів поліаміду та поліетилену виглядає наступним чином. В автоклав надходять відходи, які, потрапляючи на плавильну решітку, занурюються в шлам. Щоб уникнути руйнування поліаміду, плавлення відбувається під азотом. З шламу розплав через розвантажувальний насос надходить у резервуар миттєвого охолодження. Після повного застигання перероблений поліамід подрібнюється в млині.

Автоматичне підтримання температури розплаву здійснюється так: в шламі встановлюється датчик температури (термоопір). Сигнал з датчика температури надходить на мікропроцесорний контролер, який через оптопару керує нагрівачем розплаву. Коли температура розплаву опускається нижче заданої, контролер вмикає нагрівачі. Коли температура розплаву досягає необхідного значення, контролер відключає подачу енергії на нагрівачі. Зміни температури постійно відстежуються, тому у разі виникнення температурних відхилень під час процесу переробки поліамідних або поліетиленових відходів чутливий контролер швидко реагує. Точний контроль температури забезпечує більш ефективну переробку відходів.

Коли розплав досягає заданої температури, вмикаються інжекційні насоси та двигуни дробарок. Це відбувається одночасно за допомогою одного пускача, керованого через оптопару від мікропроцесорного контролера.

Для регулювання температури води в баку миттєвого охолодження встановлено датчик температури (термоопір). Якщо температура води перевищує задану, мікропроцесорний контролер відкриває клапан подачі води. Надлишок води витікає через переливний отвір у каналізацію.

Загартовані нитки відправляються в дробарку, де вони подрібнюються. Швидкість обертання двигуна дробарки постійна в часі і не регулюється. З дробарки крихта направляється в бункер для подальшої обробки.

1.4. Висновок до розділу 1

У розділі розглянуто сучасні технічні процеси переробки пластикових відходів, зокрема поліамідів і поліетилену, які є важливими для зменшення негативного впливу на довкілля. Проведений аналіз показав, що найбільш ефективними є методи механічного подрібнення, екструзії, автоклавної обробки та термічної деструкції. Застосування автоматизованих систем керування температурою підвищує ефективність процесів, забезпечуючи стабільну якість кінцевих продуктів.

Особливу увагу приділено методам повторного використання відходів у якості добавок до вихідної сировини чи для виготовлення будівельних матеріалів. Виявлено, що проблеми, пов'язані із забрудненням побутових пластикових відходів, значно ускладнюють їхню переробку та обмежують можливості застосування механічних і термічних методів. Однак технології, що включають сортування, очищення та гранулювання, сприяють максимальному використанню вторинної сировини.

Таким чином, запропоновані рішення дозволяють не лише підвищити ефективність переробки пластикових відходів, але й знизити їхній вплив на навколишнє середовище, що є актуальним завданням сучасної промисловості.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПЛАВЛЕННЯ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ

У процесі дослідження системи автоматичного керування зазвичай вирішуються одне з двох можливих завдань. Перше завдання (аналіз) полягає в знаходженні статичних і динамічних властивостей, що впливають на систему автоматичного керування. Друге, більш складне завдання (синтез), полягає у проектуванні нової системи автоматичного керування на основі заданих властивостей елементів.

Для вирішення цих завдань необхідно описати систему автоматичного керування. Це опис може бути лінгвістичним, у вигляді структурних схем або у вигляді математичних (формульних) залежностей. Усі типи опису використовуються для аналізу та синтезу, але найбільш повне уявлення дає математичний опис системи автоматичного керування (математична модель). Математична модель дозволяє розрахувати кількісні характеристики, що визначають властивості системи автоматичного керування. Зв'язки — це елементи системи, які не можна поділити на частини за функціональними або іншими ознаками. Зв'язки можуть бути представлені аналітично у вигляді рівнянь (математичних формул), що зв'язують вхідні та вихідні величини, або графічно через побудову цих зв'язків у вибраній системі координат.

Під час побудови математичних моделей необхідно розділяти систему автоматичного керування на прості (аналітично записані) зв'язки і неминучі спрямовані дії. Спрямована дія — це властивість ланки, за якої інформація від входу до виходу ланки передається лише в одному напрямку. У такому разі наступна ланка не може впливати на попередню, що робить її практично незалежним елементом системи автоматичного керування. Така ситуація значно полегшує завдання побудови математичних моделей усієї системи автоматичного керування на основі моделей окремих ланок та їхніх з'єднань.

Математичний опис системи автоматичного керування, отриманий у вигляді набору алгебраїчних, тригонометричних і диференціальних рівнянь, кожне з яких відповідає певній ланці, має один недолік: зв'язків і взаємодій між ланками не видно, що ускладнює розуміння логіки роботи системи автоматичного керування в цілому. Щоб подолати цей недолік, математична модель представлена у вигляді блок-схеми. Вона складається з прямокутників, що зображають ланки системи автоматичного керування, стрілок, що з'єднують виходи та входи окремих ланок, і дій, що вказують їхній напрямок. У прямокутнику можуть бути записані рівняння, а ланки можуть бути позначені цифрами або літерами алфавіту.

Математичний опис системи починається з розбиття її на ланки та опису цих ланок. Ланка — це такий елемент системи, який уже не можна розділити на частини за функціональними чи іншими ознаками. Ланку можна представити аналітично у вигляді рівнянь (формул), що зв'язують вхідні та вихідні величини, або графічно, зображуючи той самий зв'язок в обраній системі координат.

Для побудови математичної моделі об'єкта регулювання в даному дипломному проекті використовується програма Mathcad. Крива розгону була знята при зміні керуючого впливу на підігрівник плаву. Для цього на вхід регулятора подається східчастий сигнал, величина якого складає 10% від максимально можливого значення. Значення для побудови кривої розгону та результати розрахунку наведено в додатку А.

2.1. Одержання математичного опису об'єкту управління

Властивості об'єктів визначають аналітичним, експериментальним й експериментально-аналітичним методами.

Аналітичний метод полягає в складанні математичного опису об'єкта, при якому знаходять рівняння статички й динаміки на основі теоретичного аналізу фізичних і хімічних процесів, що протікають у досліджуваному об'єкті, і з

урахуванням конструкції апаратури й характеристик що переробляємих речовин. При виводі цих рівнянь використовуються фундаментальні закони збереження речовини й енергії, а також кінетичні закономірності процесів хімічних перетворень, переносу тепла й маси.

Аналітичний метод застосовують при проектуванні нових технологічних об'єктів, фізико-хімічні процеси яких досить добре вивчені. Він дозволяє прогнозувати роботу об'єктів у статичному й динамічному режимах, однак сполучений з труднощами рішення й аналізу складених рівнянь і вимагає проведення спеціальних досліджень для визначення чисельних значень коефіцієнтів цих рівнянь. Крім того, точність математичного опису реальних об'єктів у великому ступені залежить від введення спрощувальних допущень.

Експериментальний метод складається з визначення характеристик реального об'єкта шляхом постановки на ньому спеціального експерименту.

Метод досить простий, має малу трудомісткість, дозволяє досить точно визначити властивості конкретного об'єкта. Разом з тим, він вимагає оснащення досліджуваного об'єкта експериментальним обладнанням й проведення спеціальних досліджень. При експериментальному методі неможливо виявити функціональні зв'язки між властивостями переробляючих та одержуваних речовин, режимними показниками технологічного процесу й конструктивних характеристик об'єкта. Цей недолік не дозволяє поширити на інші однотипні об'єкти результати, отримані експериментальним методом.

Експериментально-аналітичний метод полягає в складанні рівнянь шляхом аналізу явищ, що відбуваються в об'єкті, при цьому чисельні значення коефіцієнтів отриманих рівнянь визначаються експериментально на реальному об'єкті. Будучи комбінацією аналітичного й експериментального способів визначення властивостей об'єктів, цей метод урахує їхні переваги й недоліки.

Складання математичного опису об'єктів починають зі знаходження рівнянь його матеріального або енергетичного балансів (за нескінченно малий проміжок часу dt), виявлення кінетичних закономірностей, гідродинамічних умов і т.п.. В

отриманих рівняннях розкривають значення невідомих і виключають проміжні змінні. Нелінійні диференціальні рівняння, яким відповідають безперервні статичні характеристики з більшим радіусом кривизни, лінеарізують.

Далі в лінійній або лінеаризованій математичній моделі об'єкта від абсолютних значень вхідних і вихідних величин переходять до їхніх збільшень. Останні, у свою чергу, замінюють безрозмірними величинами, які являють собою відносини - абсолютних збільшень цих величин до їх довільно обраних базисних значень. У якості таких звичайно використовують значення величин у рівноважному стані до нанесення впливу, що обурює. Базисні значення позначають тими ж буквами, що й самі змінні, але з індексом нуль.

Отримані рівняння приводять до загальноприйнятої форми шляхом групування в лівій частині всіх членів, що містять вихідну величину об'єкта і її похідні, а в правій частині - всіх членів, що містять вхідну величину об'єкта і її похідні. Остання операція складається з ділення всіх членів отриманих рівнянь на постійний коефіцієнт при безрозмірній вихідній (або вхідній) величині.

2.2. Опис рівнянь динаміки циліндру литтєвої машини

Складемо математичний опис шнекового циліндру обсяг розплаву в якому V , у який потрапляє гранулят кількістю F_z з температурою T_1 . В циліндрі він розплавлюється кількістю теплоти Q , затрачаючи потужність P та нагрівається до температури T_2 . Кількістю F_p з температурою T_2 розплав виходить із циліндра. Так як нагрівачі всіх ланок циліндра працюють однаково, тому, для простоти розрахунків, приймаємо їх як одне ціле. Схема шнекового циліндру зображена на (рис. 2.1.).

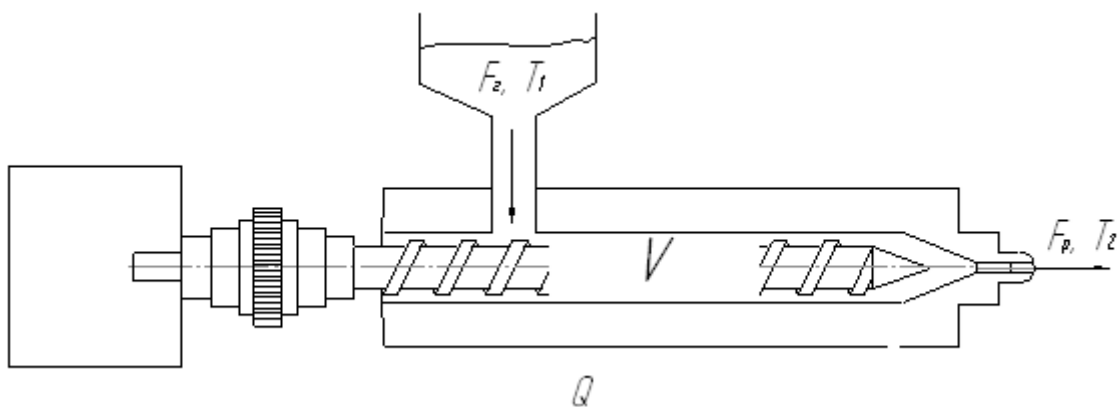


Рис. 2.1. Схема шнекового циліндру

Складемо рівняння матеріального балансу речовини, що протікає через шнековий циліндр за час dt

$$F_p dT_2 = F_z T_1 dt + VQ(T_1 - T_2)dt \quad (2.1)$$

Таким чином, зміна температури розплаву на виході дорівнює температурі розплаву на вході, що надійшов за час dt , і кількості тепла, що нагрів цей розплав від температури T_1 до температури T_2 .

Розділимо рівняння (2.1) на dt і врахуємо, що

$$Q = \frac{\eta AP}{c} \quad (2.2)$$

де η – коефіцієнт корисної дії нагрівачів;

A – площа поверхні стінок;

P – потужність споживання нагрівачів;

c – питома теплоємність речовини.

Одержимо

$$F_p \frac{dT_2}{dt} = F_z T_1 + \frac{V\eta A}{c} P T_1 - \frac{V\eta A}{c} P T_2 \quad (2.3)$$

Заміняючи всі змінні величини в рівнянні (2.3) їхніми кінцевими прирістами, віднесеними до базисних значень, позначуваних через T_{10} , T_{20} , P_0 , і беручи до уваги, що збільшення функції двох аргументів $f(x,y)$ визначається рівністю:

$$\Delta f(x,y) = \frac{df}{dt} \Delta x + \frac{df}{dt} \Delta y, \quad (2.4)$$

знайдемо диференціальне рівняння перехідного процесу об'єкта

$$\begin{aligned} F_p \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta T_2}{T_{20}} \right) = F_z \frac{\Delta T_1}{T_{10}} + \frac{V\eta A}{c} P_0 T_{10} \left(\frac{\Delta P}{P_0} \right) + \frac{V\eta A}{c} P_0 T_{10} \left(\frac{\Delta T_1}{T_{10}} \right) - \\ - \frac{V\eta A}{c} P_0 T_{20} \left(\frac{\Delta P}{P_0} \right) - \frac{V\eta A}{c} P_0 T_{20} \left(\frac{\Delta T_2}{T_{20}} \right) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Розділимо усі складаємі рівняння (2.5) на $\frac{V\eta A}{c} P_0 T_{20}$. Отримаємо:

$$\frac{F_p c}{V\eta A P_0 T_{20}} \times \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta T_2}{T_{20}} \right) - \frac{\Delta T_2}{T_{20}} = \frac{F_p c}{V\eta A P_0 T_{20}} \times \frac{\Delta T_1}{T_{10}} + \frac{T_{10}}{T_{20}} \times \frac{\Delta P}{P_0} + \frac{T_{10}}{T_{20}} \times \frac{\Delta T_1}{T_{10}} - \frac{\Delta P}{P_0} \quad (2.6)$$

Спростуємо

$$\frac{F_p c}{V\eta A P_0 T_{20}} \times \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta T_2}{T_{20}} \right) - \frac{\Delta T_2}{T_{20}} = \left(\frac{F_p c}{V\eta A P_0 T_{20}} + \frac{T_{10}}{T_{20}} \right) \frac{\Delta T_1}{T_{10}} + \left(\frac{T_{10}}{T_{20}} - 1 \right) \frac{\Delta P}{P_0} \quad (2.7)$$

Введемо позначення

$$\frac{F_p c}{V \eta A P_0 T_{20}} = T_0 \quad \frac{\Delta T_2}{T_{20}} = y; \quad \frac{\Delta P}{P_0} = x; \quad \frac{\Delta T_1}{T_{10}} = z;$$

$$\frac{T_{10}}{T_{20}} - 1 = k_1; \quad \frac{F_p c}{V \eta A P_0 T_{20}} + \frac{T_{10}}{T_{20}} = k_2;$$

І отримаємо шукане рівняння

$$T_0 \frac{dy}{dt} + y = k_1 x + k_2 z \quad (2.8)$$

Передаточні функції об'єкта по каналах $x \rightarrow y$, $z \rightarrow y$, описуються виразом:

$$\left. \begin{aligned} W(p) &= \frac{k_1}{T_0 p + 1} \\ W(p) &= \frac{k_2}{T_0 p + 1} \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

2.2.1. Вибір каналів управляючого впливу.

Схема динамічних каналів шнекового циліндру зображена на рис.2.2.

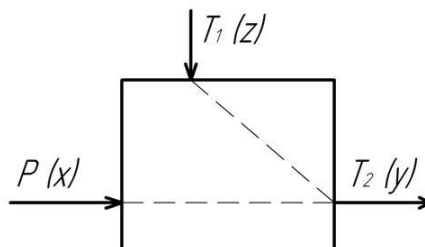


Рис. 2.2. Схема динамічних каналів шнекового циліндру

Для шнекового циліндру єдиним можливим каналом керуючого впливу являється канал $P(x) \rightarrow T_2(y)$. Тобто регулювати температуру розплаву на виході циліндру будемо зміною потужності нагрівачів.

2.2.2. Знаходження математичної моделі експериментальним методом.

Це найпростіший спосіб одержання математичної моделі. Недоліком є те, що цю модель не можна застосувати до іншого схожого об'єкта.

Розгінна крива знімається на діючому устаткуванні. Схема установки апаратури для зняття розгінної кривої зображена на рис. 2.3.

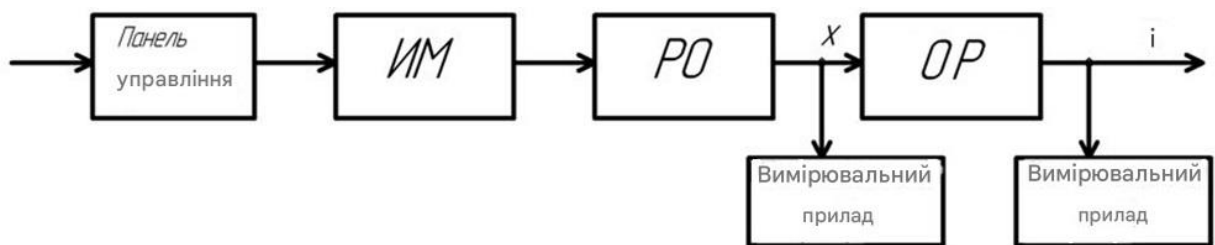


Рис. 2.3. Схема установки апаратури для зняття розгінної кривої

Виконавчий механізм (ВМ) змінює положення регулюючого органа (РО) на 7 - 10% від його номінального положення. Із цього моменту починають фіксувати зміну параметра на виході доти поки об'єкт регулювання (ОР) не вийде на новий сталий рівноважний стан, або не наступить момент, коли вихідний параметр буде змінюватися з постійною швидкістю.

Об'єкти хімічної технології найчастіше являють собою об'єкти 2-го порядку і вище. Це значить що передатну функцію можна шукати у вигляді

$$W(p) = \frac{k}{(T_p + 1)^n} e^{-\tau_y p} \quad (2.10)$$

де n - порядок об'єкта;

T - постійна часу;

τ_y - час запізнювання;

k - коефіцієнт передачі (посилення);

p - оператор Лапласа.

Знімемо експериментальну розгінну криву. Для цього змінюємо різко потужність нагрівачів в циліндрі на 7% і стежимо за зміною температури розплаву на виході шнекового циліндру. Крива розгону шнекового циліндру, отримана експериментально зображена на рис. 2.4.

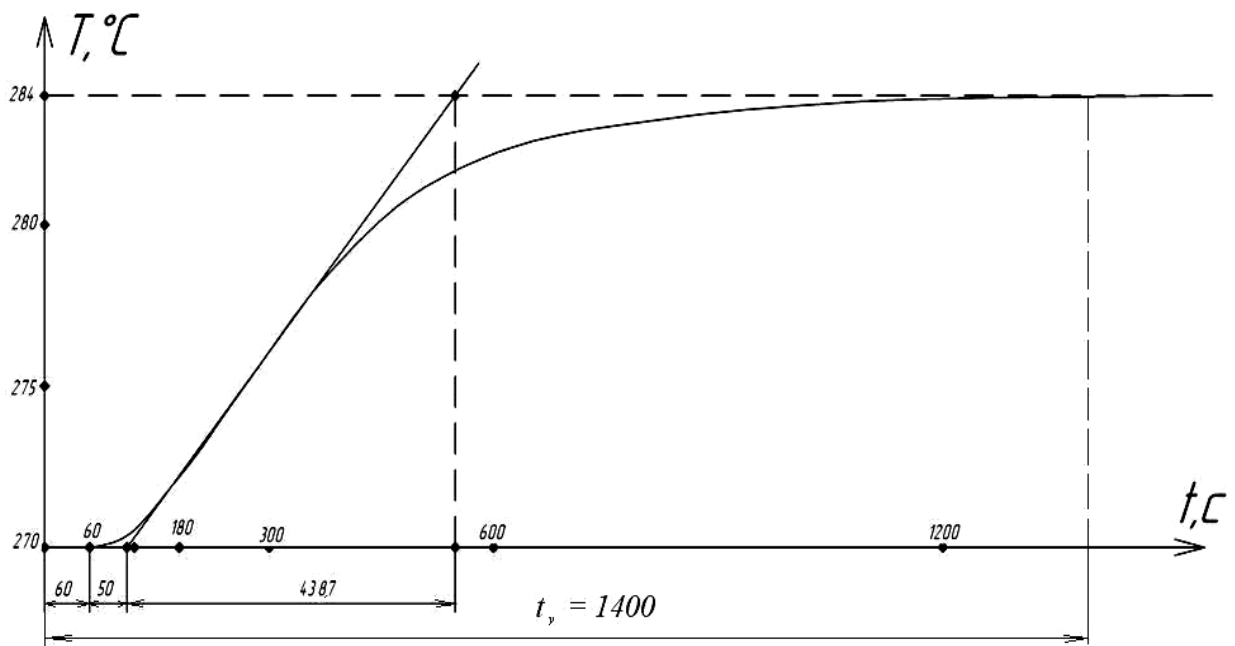


Рис. 2.4. Крива розгону шнекового циліндру

За графіком знайдемо наступні параметри:

$$T_{oa} = 60;$$

$$T_{ab} = 50;$$

$$T_{bd} = 43,87.$$

Порядок об'єкта визначається по співвідношенню T_{ab}/T_{bd} за допомогою таблиці 2.1. Також по таблиці визначаються параметри передатної функції об'єкта.

Таблиця 2.1

T_{ab}/T_{bd}	n	k_1	k_2
0	1	1	0
0,104	2	2,718	0,282
0,218	3	3,695	0,805
0,319	4	4,463	1,425
0,410	5	5,119	2,100

$$\frac{T_{ab}}{T_{bd}} = \frac{50}{438,7} = 0,114; \quad (2.11)$$

Звідси $n = 2$.

З таблиці знайдемо параметри передатної функції:

$$k_1 = 2,718 \text{ и } k_2 = 0,282.$$

Так як порядок об'єкта вище одиниці, то спочатку визначаємо постійні часу, що входять у нього аперіодичних ланок:

$$T = \frac{T_{bd}}{k_1} = \frac{438,7}{2,718} = 161,4; \quad (2.12)$$

Знаходимо значення часу затримки τ_1 :

$$\tau_1 = k_2 T = 0,282 \times 161,4 = 45,5; \quad (2.13)$$

Умовний час затримки дорівнює

$$\tau_y = T_{oa} + T_{ab} - \tau_1 = 60 + 50 - 45,5 = 64,5; \quad (2.14)$$

Знаходимо коефіцієнт підсилення об'єкта по відношенню

$$k = \frac{y}{x} = \frac{y_6 - y_n}{y_n} \times \frac{x_n}{x_6 - x_n} = \frac{100}{7} \times \frac{284 - 270}{270} = 0,74; \quad (2.15)$$

Таким чином, використовуючи формулу (2.10), записуємо рівняння передатної функції об'єкта:

$$W(p) = \frac{0,74}{(161,4p + 1)^2} e^{-64,5p}; \quad (2.16)$$

Потрібно перевірити наскільки правильно отримана експериментальна модель.

Для цього методами ТАУ одержуємо графік перехідного процесу в об'єкті. Множимо передатну функцію на одиничне збудження

$$h(t) = W(p) \times 1(t), \quad (2.17)$$

і, користуючись таблицями Лапласа одержуємо рівняння перехідного процесу у вигляді

$$h(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 < t < \tau_y \\ k \left[1 - \left(1 + \frac{t - \tau}{T} \right) e^{-\frac{t - \tau}{T}} \right] & \text{при } t > \tau_y \end{cases} \quad (2.18)$$

Підставляємо в рівняння (2.18) параметри свого об'єкта. Одержуємо

$$h(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 < t < 64,5 \\ 0,74 \left[1 - \left(1 + \frac{t - 64,5}{161,4} \right) e^{-\frac{t - 64,5}{161,4}} \right] & \text{при } t > 64,5 \end{cases} \quad (2.19)$$

Для одержання перехідного процесу в абсолютних одиницях використаємо співвідношення:

$$\frac{\Delta y}{y_n} = h(t) \frac{\Delta x}{x_0} \quad (2.20)$$

У нашому випадку

$$\frac{\Delta T}{T_n} = h(t) \frac{\Delta P}{P_0} \quad (2.21)$$

Спростимо й підставимо свої значення

$$P = 270[1 + 0,07h(t)] \quad (2.22)$$

Підставляючи в рівняння (2.19) і (2.22) значення часу t , знайдемо значення температури T у певних точках. Дані розрахунків запишемо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

Розрахунків дані

t,с	80	100	120	150	180	210	240	270
T, °C	270,06	270,3	270,7	271,4	272,3	273,2	274,1	275,1
t,с	300	360	450	600	750	900	1200	1500
T, °C	276	277,6	279,6	281,8	282,9	283,5	283,89	283,97

За даними таблиці будуюмо графік розрахункової кривої розгону й порівнюємо його з експериментальною кривою. Розбіжність між ними повинне бути менше 5%. У чому можна переконатися подивившись на (рис. 2.5.). На (рис. 2.5.) зображені експериментальна (суцільною лінією) і розрахункова (пунктиром) криві розгону.

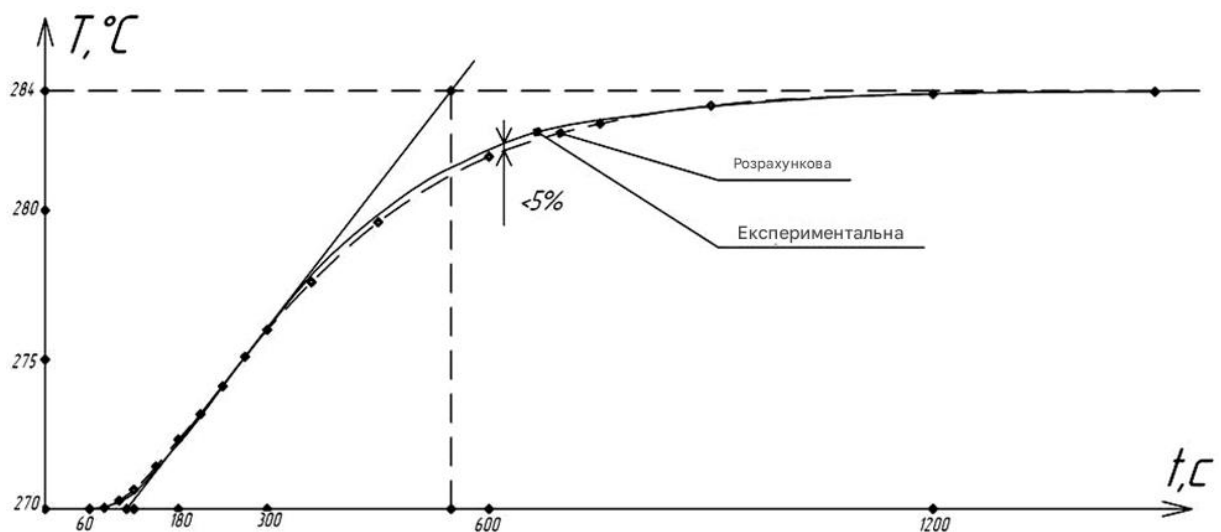


Рис. 2.5. Розгінні криві

Отже, звідси видно, що розрахункова й експериментальна розгінні криві розходяться менше ніж на 5%, тобто експериментальна крива розгону знята досить точно.

2.3. Синтез САР

Синтез системи полягає в підборі такого закону регулювання й такої структурної схеми щоб забезпечити в об'єкті потрібний перехідний процес. У загальному випадку САР в об'єкті можуть забезпечуватися наступні перехідні процеси:

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

- 1) Аперіадичний;
- 2) З 20-ти %-вим перерегулюванням;
- 3) З мінімальним квадратичним відхиленням.

2.3.1. Вибір структурної схеми САР.

Вона призначена для регулювання (підтримання на постійному заданому рівні) однієї технологічної величини, реагуючи на її відхилення від заданого значення. Система має один замкнутий контур і є типовою одномірною одноконтурною замкнутою САР.

Блок-схема САР представлена на рис. 2.6. Система складається з таких компонентів: об'єкта регулювання (ОР), вимірювального перетворювача (ВП), автоматичного регулятора (АР) і виконавчого механізму (ВМ). Зовнішнє збурення z викликає відхилення регульованої технологічної величини y від заданого значення u .

Зміна регульованої величини сприймається вимірювальним перетворювачем (ВП) і передається до автоматичного регулятора (АР). Регулятор порівнює поточне значення величини y із заданим u , залежно від знака та величини розбіжності, за заздалегідь заданим алгоритмом генерує регулюючий вплив x . Цей вплив через виконавчий механізм (ВМ) направляється на об'єкт регулювання (ОР), що дозволяє усунути або зменшити цю розбіжність. Таким чином, причина, що викликала спрацювання регулятора, у свою чергу, перебуває під його зворотним впливом.

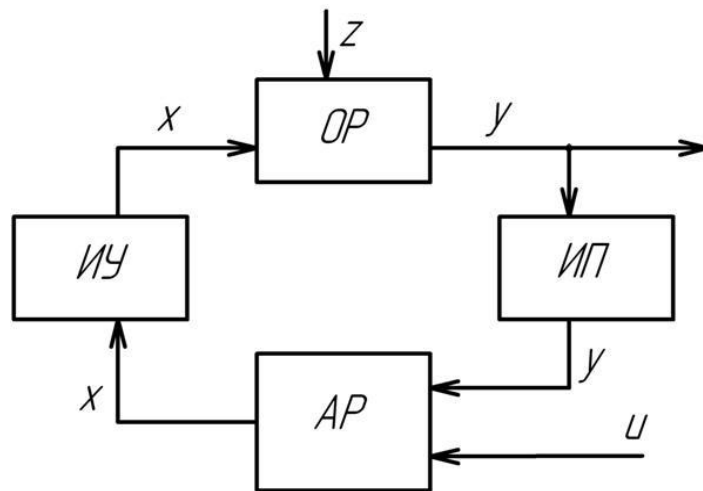


Рис. 2.6. Блок-схема САР

При дослідженні одномірних одноконтурних замкнутих САР їхню структурну схему приводять до найпростішого виду: об'єкт ОП і регулятор АР (рис. 2.7). При цьому усі ланки, що визначають динамічні властивості чутливих елементів, вимірювальних пристроїв, виконавчих пристроїв і лінії зв'язку, відносять звичайно до об'єкта. Такі системи мають як мінімум дві вхідні величини, дія яких приводить до зміни однієї вихідної величини - поточного значення регульованої величини y .

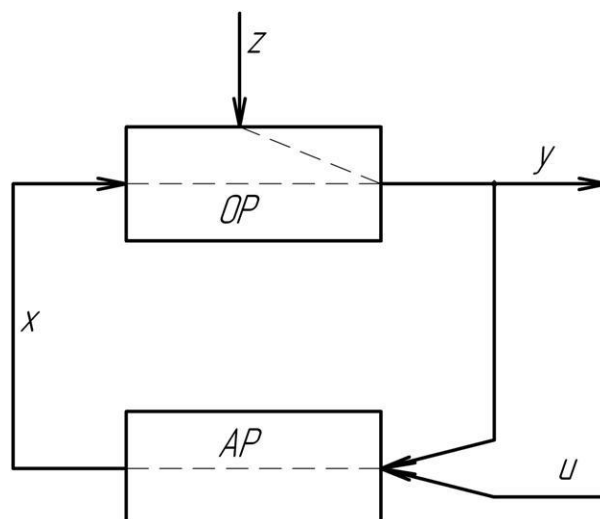


Рис. 2.7. Структурна схема одномірної одноконтурної замкнутої АСР

2.3.2. Вибір закону регулювання.

Існує шість законів регулювання:

- інтегральний (І);
- пропорційний (П);
- диференціальний (Д);
- пропорційно-інтегральний (ПІ);
- пропорційно-диференціальний (ПД);
- пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД).

Перехідні процеси при зміні впливу, що збуджує, використовуючи всі види регуляторів, зображені на (рис. 2.8.).

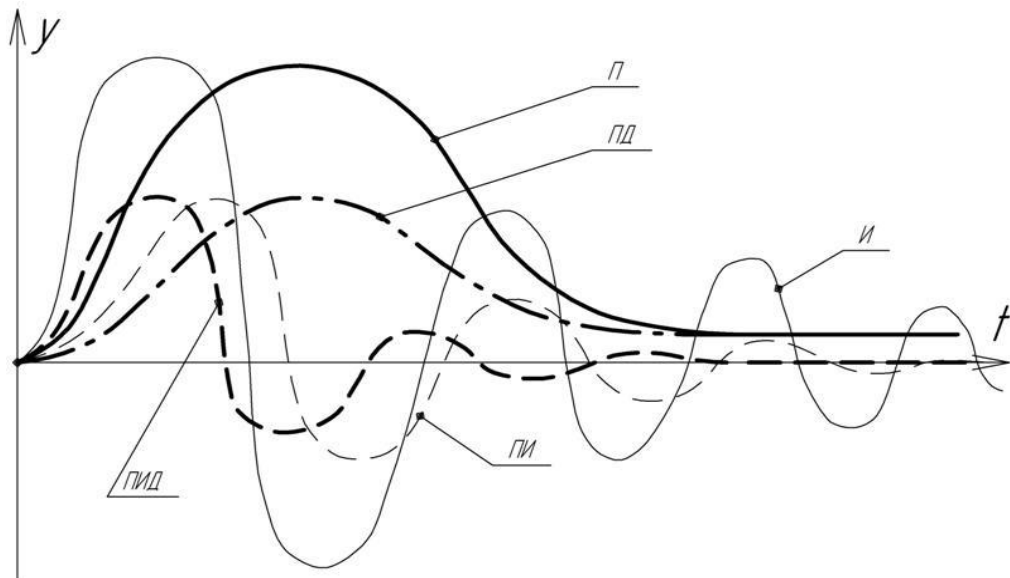


Рис. 2.8. Перехідні процеси всіх видів регуляторів

Тип автоматичного регулятора (закон регулювання) визначається з урахуванням характеристик об'єкта регулювання та заданих показників якості перехідного процесу. Для кожного конкретного технологічного процесу, який має свої унікальні особливості, висуваються специфічні вимоги до якості регулювання. У деяких випадках пріоритетним є зведення до мінімуму динамічної помилки регулювання, а в інших – скорочення часу регулювання тощо. Залежно від

технологічних вимог, в якості цільового вибирають один із трьох стандартних типів перехідних процесів: гранично аперіодичний, із 20%-ним перерегулюванням або з мінімальною квадратичною площею відхилення. При виборі закону регулювання (І-, П-, ПІ-, ПІД-) ураховують:

властивості хіміко-технологічного об'єкта;

максимальну величину збурювання;

прийнятий для даного технологічного процесу вид типового перехідного процесу;

припустимі показники якості процесу регулювання (динамічна помилка $u_{I\text{ доп}}$, статистична помилка $u_{ст. доп}$, час регулювання $u_{р. доп}$).

Завдання вибору закону регулювання має множинне рішення. Задану якість можна забезпечити регуляторами різних типів. Рекомендується застосовувати регулятори найпростішого типу. Процес вибору виглядає так: спочатку перевіряється, чи здатний найпростіший регулятор (І-регулятор) забезпечити задану якість регулювання. Якщо це можливо, переходять до визначення його параметрів налаштування.

У разі неможливості використовують послідовно більш складні регулятори, поки не буде знайдено той, що відповідає вимогам якості. Після цього визначають оптимальні параметри його налаштування.

У даному випадку необхідно обрати тип регулятора та знайти оптимальні параметри його налаштування для регулювання температури. Використовуючи метод повної компенсації, обираємо ПІД-закон регулювання. За допомогою програмного забезпечення Mathcad 2001 методом підбору параметрів регулятора визначаємо значення, за яких графік буде оптимальним. Структура схема регулювання температури показана в Додатку Г

2.3.3. Моделювання роботи САР.

Позначимо коефіцієнти передаточної функції об'єкта :

$$\tau := 64.5$$

$$k := 0.74$$

$$T := 161.4$$

Укажемо передаточну функцію об'єкта в загальному виді:

$$W_o(s) := \frac{k}{(Ts + 1)^2} \frac{2 - \tau \cdot s}{2 + \tau \cdot s}$$

Укажемо значення коефіцієнтів настроювання для регулятора розраховані по монограммам

$$k_p := 2.7$$

$$T_i := 110$$

$$k_d := 10$$

$$T_d := 23$$

Укажемо передаточну функцію регулятора в загальному виді:

$$W_c(s) := k_p + \frac{1}{T_i \cdot s} + \frac{k_d \cdot T_d \cdot s}{(T_d \cdot s + 1)}$$

Передаточна функція САР по відхиленню буде мати вигляд:

$$W_g(s) := \frac{W_o(s) \cdot W_c(s)}{1 + W_o(s) \cdot W_c(s)} \left| \begin{array}{l} \text{simplify} \\ \text{float, 4} \end{array} \right. \rightarrow -37. \cdot (-4. + 129. \cdot s) \cdot \frac{(1.203 \cdot 10^7 \cdot s^2 + 1.503 \cdot 10^5 \cdot s + 250.)}{(1.149 \cdot 10^{13} \cdot s^4 + 2.368 \cdot 10^{11} \cdot s^3 + 1.398 \cdot 10^{14} \cdot s^5 + 3.520 \cdot 10^9 \cdot s^2 + 2.750 \cdot 10^7 \cdot s + 3.700 \cdot 10^4)}$$

Виконаємо зворотні перетворення Лапласа:

$$h_g(t) := \frac{W_g(s)}{s} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{complex} \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \rightarrow 1. - .19137 \cdot \exp[-(6.00860980574421809058271 \cdot 10^{-2}) \cdot t] + .12086 \cdot \exp[-(1.15595244655301325581007 \cdot 10^{-2}) \cdot t]$$

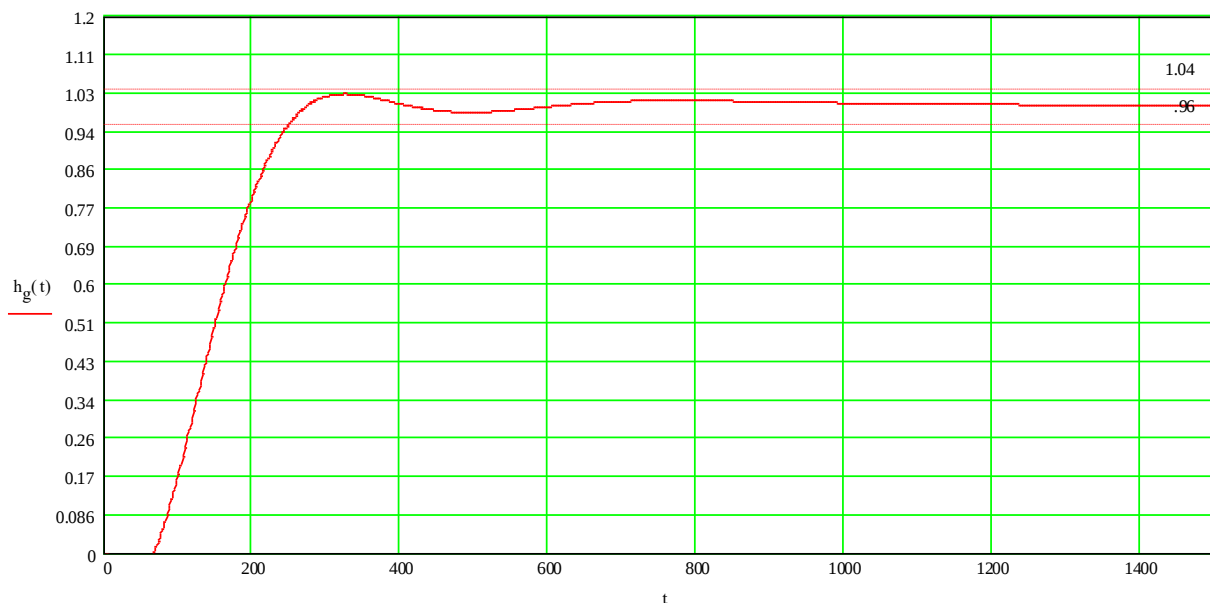


Рис. 2.9. Графік перехідного процесу в САР

Висновок: при моделюванні значення параметру оптимізовані, у синтезованої САР забезпечується перехідний процес безперерегулювання, час регулювання становить 250 секунд. що відповідає вимогам технологічного процесу і графік перехідного процесу в САР зображений на рисунку 2.9.

2.4 Висновок до розділу 2

Проведено детальний аналіз процесу створення математичної моделі системи автоматичного керування, що забезпечує процес плавлення пластикових відходів. Було визначено, що для опису системи керування використовуються аналітичний, експериментальний та експериментально-аналітичний методи. Кожен із цих підходів має свої переваги та недоліки: аналітичний метод забезпечує точність та теоретичну обґрунтованість, експериментальний дозволяє швидко отримати характеристики конкретного об'єкта, а експериментально-аналітичний поєднує переваги перших двох методів.

Для побудови математичної моделі було використано програмне забезпечення Mathcad. Здійснено побудову кривих розгону та проведено аналіз

отриманих результатів, що дозволило створити модель із точністю, яка відповідає вимогам системи автоматичного керування. Особливу увагу приділено синтезу системи керування, яка включає вибір закону регулювання та побудову передаточних функцій. Застосування пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) закону регулювання дозволило досягти оптимального перехідного процесу, забезпечивши мінімальну похибку регулювання та стабільну роботу системи.

На основі отриманих експериментальних даних була побудована модель, що демонструє високу точність відповідності між розрахунковими та експериментальними кривими.

					ХНТУ151.КРМ.23.01 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		41

3 РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ПЛАСТМАС

3.1 Огляд існуючих рішень

3.1.1 Способи та інструменти для вимірювання температури

Визначення поняття «вимірювання» можна сформулювати так: «Вимірювання — це приписування об'єктам, процесам і явищам числових значень з метою подальшого опрацювання отриманої інформації, її представлення та опису».

Пристрої для отримання інформації про вимірювання контрольованих величин і/або їх візуалізації (контрольна інформація), пристрої для первинного перетворення інформації (датчики), пристрої для нормування та передачі контрольної інформації, пристрої для зберігання та обробки інформації, тобто її перетворення, порівняння з програмною інформацією, формування нової (керуючої, командної, вихідної) інформації, пристрої для передачі та прийому контрольної інформації, а також пристрої для управління, передачі й прийому інформації в системах автоматичного керування.

Функціональні прилади та обладнання інтегруються з інформаційними потоками системи, що забезпечують виконання визначеної послідовності операцій. Існують автоматизовані системи вимірювання та управління (вимірювальні інформаційні системи).

Кінцева мета процесу вимірювання полягає в порівнянні виміряної величини з деяким еталонним значенням, прийнятим за одиницю. Однак безпосереднє порівняння можливо лише під час вимірювання лінійних розмірів, маси, часу та деяких інших величин.

Дослідження властивостей первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків) та розробка нових типів значно спрощується, коли датчики розглядаються як проста сукупність зв'язків.

У хімічній промисловості температура є одним із основних параметрів, які

визначають хід технологічного процесу та якість напівфабрикатів.

Температура — це кількісна характеристика ступеня нагрівання об'єкта. Чим сильніше нагрівається об'єкт, тим вища його температура. Оскільки в природі немає єдиної стандартної одиниці вимірювання цієї величини, визначення і відтворення температури здійснюється шляхом спостереження за зміною фізичних властивостей, що залежать від температури (теплове розширення, термоелектричні властивості, опір тощо), які є термометричним матеріалом. Одиниця вимірювання температури визначається загальноприйнятою температурною шкалою.

Температурна шкала — це безперервний набір числових значень, лінійно пов'язаних із числовим значенням точного вимірюваного фізичного параметра, що є монотонною функцією температури. При створенні температурної шкали обираються кілька точок відліку, які відповідають температурам, що можуть бути легко відтворені, наприклад, температура замерзання або кипіння чистої речовини. Цим температурам присвоюються довільні значення t' і t'' . Температурний інтервал $t'' - t'$ поділяється на певну кількість рівних частин, і $1/p$ частина основного інтервалу використовується як одиниця виміру температури — градус.

У Міжнародній системі одиниць (СІ) одиницею вимірювання температури є градус Кельвіна (К), а базовою точкою для шкали є температура в потрійній точці води (273,16 К). Міжнародна шкала робочих температур базується на термодинамічній шкалі температур, запропонованій Кельвіном у 1848 році. Термодинамічна шкала температур заснована на термодинамічному рівнянні оборотних процесів, що робить її точною і єдиною.

Поряд з міжнародною термодинамічною температурною шкалою визнано і Міжнародну практичну температурну шкалу в 100 градусів Цельсія, яку у 1948 році було названо шкалою Цельсія. Одиницею виміру для цієї шкали є міжнародний практичний градус ($^{\circ}\text{C}$). Основним інтервалом цієї шкали є

діапазон від потрібної точки води (0,01 °C) до точки кипіння води (100 °C) за нормальних умов.

Відношення температури T , вираженої в Кельвінах, до температури t , вираженої в міжнародних градусах Цельсія, є:

$$T = (t + 273,15) \text{ K}; \quad (3.1)$$

$$t = (T - 273,15) ^\circ \text{C}. \quad (3.2)$$

Основними постійними і легковідтворюваними точками температурних шкал є: точка кипіння кисню (90,18 К або -182,97 °C), потрібна точка води (273,16 К або 0,01 °C), точка кипіння води (373,15 К або 100 °C) та інші.

Умовно всю область виміру температур можна розділити на дві частини: термометрію та пірометрію. Термометрія охоплює вимір температур у діапазоні від -200 до +650 °C за допомогою приладів, що називаються термометрами, а пірометрія – вимір температур у діапазоні від -50 до +6000 °C за допомогою приладів, що називаються пірометрами.

Прилади для вимірювання температури можна розділити залежно від фізичних властивостей, на основі яких вони побудовані, на п'ять груп за межею виміру.

- 1) манометричні термометри (-60...+550 °C);
- 2) термометри розширення (—200...+500 °C);
- 3) термоелектричні перетворювачі (- 50... + 1600°C);
- 4) термоперетворювачі опору (-200...+ 650 °C);
- 5) пірометри випромінювання (-100... +6000 °C).

Термометри опору широко використовуються для вимірювання температур у діапазоні від -200 до +650°C. Їхня робота базується на властивості металів збільшувати електричний опір з підвищенням температури. Термометри опору відзначаються простотою конструкції, високою точністю вимірювання, можливістю розміщення приладу на великій відстані від місця вимірювання температури, централізованим

контролем температури через під'єднання кількох термометрів до одного приладу, а також можливістю виготовлення приладів з нульовою шкалою для будь-якого вузького діапазону температур. Найбільш підходящим матеріалом для виготовлення термометрів опору є платина. Температурний коефіцієнт опору платини становить $3,94 \times 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, а питомий опір — $0,099 (\Omega \cdot \text{м}^2)/\text{м}$.

Температурна залежність опору платини (Ω) у діапазоні температур від -40 до $+630^\circ\text{C}$ виражається рівнянням:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (3.3)$$

R_0 - опір термометра при температурі 0°C ;

R_t - опір термометра при температурі $t^\circ\text{C}$;

A й B — постійні термометра, обумовлені при його градуюванні.

В інтервалі температур $0 \dots -190^\circ\text{C}$ залежність опору платини від температури виражається рівнянням

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + Ct^3(t-100)] \quad (3.4)$$

C — третя постійна термометра, обумовлена при його градуюванні.

На відміну від платини, мідь є дешевим матеріалом, який легко отримати в чистому вигляді, і має температурний коефіцієнт опору $4,25 \cdot 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$. Залежність опору міді від температури в межах від -50 до $+200^\circ\text{C}$ описується рівнянням.

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (3.5)$$

α — температурний опору, $1/\text{град}$.

Недоліком міді є малий питомий опір

$\rho = 0,018 (\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)/\text{м}$ і її легка окислюваність. Криві залежності опору міді і платини від температури показані на рис. 3.1.

Для забезпечення сумісності термоперетворювачів опору їх основні характеристики для одного типу повинні бути однаковими. Це означає, що опір усіх термоперетворювачів одного типу при заданій температурі має перебувати в межах визначених допусків. Взаємозамінність технічних термоперетворювачів опору одного

виду (з однаковим градуванням) досягається завдяки тому, що вони мають однаковий опір R_0 при температурі 0°C і виготовляються з металу однакової чистоти.

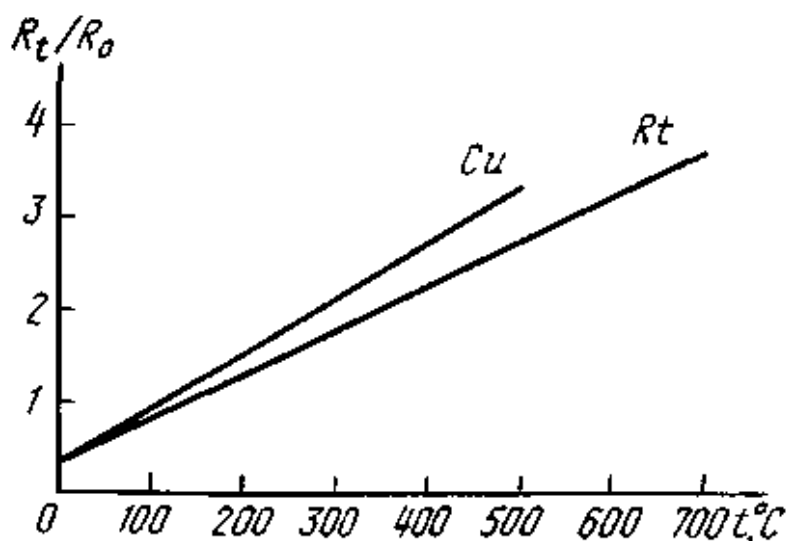


Рис 3.1 Відносна зміна опору міді і платини в залежності від температури

Термопары опору з платиновими ТСП і мідіними ТСМ чутливими елементами призначені для отримання стандартизованої інформації про температуру. Залежно від способу контакту з вимірюваним середовищем, термопары опору поділяються на заглибного або поверхневого типу, а також на стаціонарні або переносні за умовами експлуатації. Вони можуть бути герметичними або опломбованими за захистом від навколишнього середовища. За інерційністю термопары бувають малоінерційними (МІ), середньоінерційними (СІ) або високоінерційними (БІ). Також вони мають різну стійкість до механічних ударів, яка може бути нормальною або вібростійкою з різними класами стійкості (I (К-I), II (К-II), III (К-III), IV (К-IV), V (К-V)). Залежно від кількості чутливих елементів для вимірювання температури в одній зоні, термопары можуть бути одиничними або подвійними, а також однозонними або багатозонними. Кількість вихідних провідників може бути 2, 3 або 4.

Теплова інерція термоперетворювача визначається коефіцієнтом теплопередачі, який практично дорівнює нескінченності, і теплоінерція термоперетворювача, що працює в повітрі або газі, повинна відповідати певним значенням. Для малоінерційних термопар показник теплової інерції має бути не більше 10 секунд, для середньоінерційних — не більше 60 секунд, для високоінерційних — також не більше 60 секунд. Загальні технічні умови для термопар опору ГСП наведені в стандартах.

Конструкція термопар опору може бути різною. Чутливий елемент платинового термометра опору складається з платинового дроту, намотаного в двох напрямках навколо каркаса з слюдяної пластини. До кінців обмотки припаяні два клепки зі срібного дроту, які з'єднані із затискачем на головці термометра. Слюдяна пластина з обмоткою ізолювана по обидва боки широкими слюдяними прокладками і зв'язана загальним пакетом срібною стрічкою.

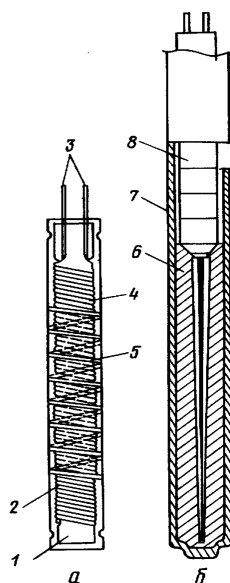


Рис 3.2 Платиновий термоперетворювачів опору:
а-чуттєвий елемент; б-внутрішня захисна арматура

Чутливий елемент вставлений в алюмінієвий вкладиш (6, рис. 3.2.6, б) і разом з ним поміщений у трубчасту оболонку (7). Висновки ізолюються порцеляновими намистинами (8). Оболонка з чутливим елементом розміщена в сталевому

захисному чохла, до якого приварений штуцер для установки датчика на резервуарах. У верхній частині захисного кожуха закріплена алюмінієва голівка датчика, всередині якої знаходиться бакелітовий вкладиш з двома затискачами для приєднання зовнішніх сполучних проводів.

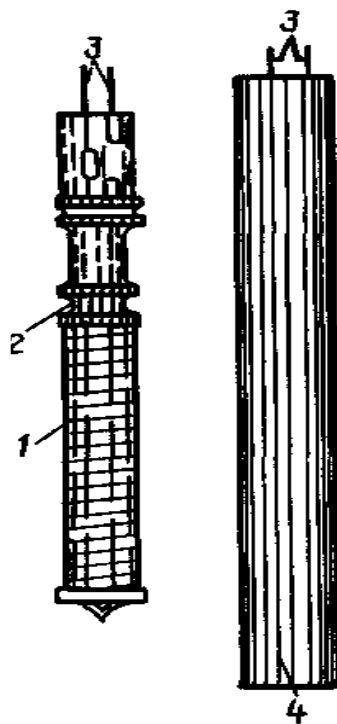


Рис 3.3 Чуттєвий елемент мідного термоперетворювачів опору

Чутливий елемент мідної термопар опору (мал. 3.3) виготовлений з мідного емальованого дроту діаметром 0,1 мм і намотаний у кілька шарів на циліндричний пластиковий каркас. До кінців обмотки припаяні дві мідні клепки, що з'єднують чутливий елемент із затискачем головки. Знизу дроти ізолювані азбестовим шнуром, а зверху — порцеляновими намистинами. Чутливий елемент розміщується в металевій оболонці, яка знаходиться в захисному корпусі. Довжина термопар опору варіюється від 150 до 2000 мм. Деякі типи термопар опору мають рухомі з'єднання як з платини, так і з міді, що дозволяє змінювати довжину залежно від місця установки.

Термопар опору можна встановлювати на будь-якій глибині від 150 до 1900 мм. Чутливий елемент при цьому розташовується на краю захисного кожуха, в центрі потоку, повністю занурений у середовище, температуру

якого вимірюють. Центр приладу має відповідати точці вимірювання температури.

Термопари опору можуть бути встановлені в будь-якому положенні. Мінімальна глибина занурення становить 150 мм, тому під час вимірювання температури в трубопроводах малого діаметра термометр слід встановлювати під кутом до коліна трубопроводу, щоб максимально збільшити глибину занурення. Термометр повинен бути встановлений за напрямком потоку.

3.1.2 Автоматична система контролю температури

Системи автоматичного регулювання температури в процесах перероблення поліамідних і поліетиленових відходів реалізуються за допомогою стандартних елементів і блоків, що серійно випускаються в промисловості. Оскільки в технічному процесі перероблення цих відходів точність підтримання температури поплавця є важливим фактором, керувальний пристрій може використовувати вітчизняний мікропроцесорний контролер МИК-22. Мікропроцесорний мікропрограмований контролер МИК-22 призначений для вимірювання вхідних параметрів разом з датчиком (тепловим перетворювачем або уніфікованим джерелом сигналу) та імпульсного керування навантаженням за пропорційно-інтегрально-похідним (ПІД) законом. Це дозволяє підтримувати задані значення виміряних параметрів з високою точністю, що робить контролер ефективним для застосування в даних системах. В Додатку Г наведена структурна схема регулювання температури у плавильній камері

Регулятор МИК-22 (рис. 3.4) представляє собою новий клас сучасних універсальних двоканальних цифрових регуляторів з аналоговим або імпульсним (дискретним) виходом, вироблених на підприємстві МИКРОЛ (Україна, 76036, м. Івано-Франківськ). У своїй структурі регулятор МИК-22 містить два незалежних канали вимірювання які можуть бути: аналоговий регулятор, ПІД-ШІМ регулятор, імпульсний ПІД регулятор, а також 3-х або 2-х позиційний регулятор.



Рис 3.4 Мікропроцесорний регулятор МИК – 22

Контролери використовуються для керування технічними процесами в промисловості. Регулятор МИК-22 підтримує значення вимірюваних параметрів з високою точністю і має три рівні гальванічної розв'язки між вхідними, вихідними та силовими колами.

Регулятор призначений як для автономного, так і для комплексного використання в автоматизованих системах керування технологічними процесами в промисловості та народному господарстві, зокрема в енергетиці, металургії, хімічній та харчовій промисловості.

МИК-22 призначений для вимірювання двох вхідних фізичних параметрів керування (наприклад, температури, тиску, витрати, рівня). Контролер вимірює, обробляє та перетворює два керованих вхідних фізичних параметри (наприклад, температуру, тиск, витрату, рівень) і відображає поточні значення на вбудованому 4-розрядному цифровому дисплеї. Контролер забезпечує вихідний аналоговий (канал 1) та імпульсний (канали 1 і 2) сигнал на два зовнішніх виконавчих механізми, формує сигнал керування та регулює вхідні параметри за P, PI, PD або PID законами відповідно до заданої користувачем логіки роботи та параметрів керування (аналогове, імпульсне, 2-3 позиційне або необхідне керування). Також контролер формує сигнали технічної сигналізації, і на передній панелі відображаються технічно небезпечні зони та індикатори сигналів перевищення або

заниження регульованих або вимірюваних параметрів.

Внутрішня пам'ять програм контролера МИК-22 містить безліч стандартних функцій, необхідних для управління технологічними процесами в більшості інженерних застосувань, зокрема:

- програмне калібрування каналів по зовнішньому зразковому джерелу аналогового сигналу,
- цифрова фільтрація,
- довільне масштабування шкал вимірюваних параметрів, лінеаризація вхідних сигналів,
- витяг квадратного кореня,
- режими статичного і динамічного балансування,
- моніторинг справності датчиків (їхніх ліній зв'язку або вимірювального каналу) із системою безпечного керування виконавчими механізмами.

Контролер МИК-22 є компактным пристроєм, що вільно програмується. Користувачі без знань і навичок програмування можуть легко викликати й виконувати функції, конфігуруючи контролер МИК-22. Цей контролер надзвичайно гнучкий і може бути налаштований відповідно до вимог процесу управління. Більшість завдань з управління технологічними процесами можуть бути швидко й легко вирішені шляхом зміни конфігурації.

Характеристики контролера МИК-22 наведено в Додатку Б.

Конфігурацію контролера МИК-22 можна здійснювати як через передню панель приладу, так і через електрично ізольований інтерфейс RS-485 (протокол ModBus), що дозволяє використовувати прилад як віддалений контролер під час роботи в сучасних мережах керування та збирання даних.

Параметри конфігурації контролера МИК-22 зберігаються в енергонезалежній пам'яті, що дає змогу приладу відновити виконання завдань керування після вимкнення живлення.

Модель регулятора МИК-22: Позначення - МИК-22-01-1103,

Виконання клеммно-блочного з'єднувача: КБЗ-25-01 -0,75

Конструкція приладу:

Контролер МИК-22 виконаний за блоковим принципом і містить у собі:

Пластиковий корпус, блок передньої панелі з сервісним елементом (клавіатурою) і дисплеєм, блок задньої панелі з клемною колодкою, призначеною для під'єднання до мережевого живлення та зовнішніх кіл введення/виведення.

Для ефективнішого керування технічними процесами блок керування МИК-22 має активний 4-розрядний цифровий дисплей для відображення вимірюваних величин (дисплей КАНАЛ 1, дисплей КАНАЛ 2), необхідну кількість сервісних клавіш і сигнальні світлодіоди для різних режимів стану та сигнальні індикатори.

Регулятор МИК-22, блок-схему якого наведено на рис. 1.9, є пристроєм, що вимірює значення двох вхідних параметрів, обробляє і перетворює вхідні сигнали та видає керувальні впливи за двома незалежними каналами.

Регулятор МИК-22 працює під керуванням сучасного мікропроцесора з високотехнологічною RISC-архітектурою, виготовленою за малопотужною і високошвидкісною КМОП-технологією. Він має функціональність для розв'язання завдань керування та регулювання, що зберігаються в постійних запам'ятовувальних пристроях. Завдяки конфігурації користувач може самостійно налаштувати регулятор для вирішення конкретних завдань.

Регулятор МИК-22 має аналого-цифровий перетворювач, дискретно-цифровий вхід, цифро-цифровий вихід, схему сторожового таймера для контролю програмного циклу, а також енергонезалежну пам'ять EEPROM і NVRAM для зберігання заданих користувачем параметрів і даних.

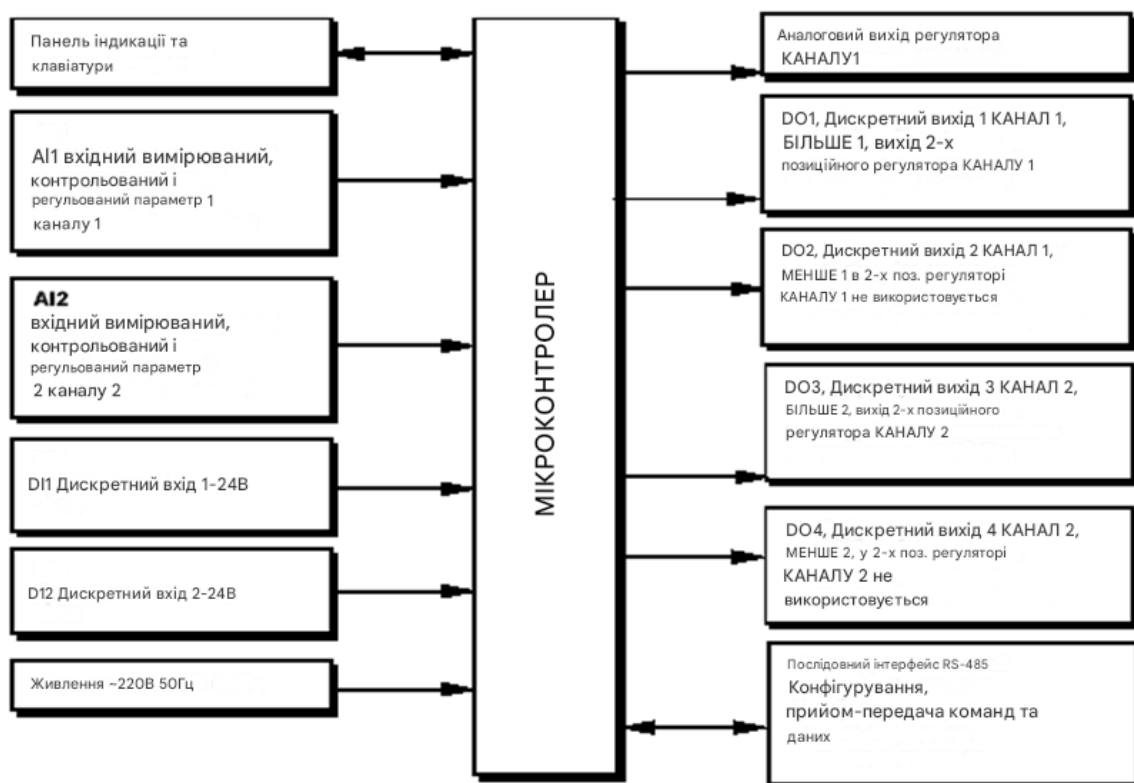


Рис 3.5 Структурна схема регулятора МИК-22

Внутрішня програма контролера МИК-22 працює за фіксованим часовим циклом. На початку кожного циклу відбувається зчитування аналогових і цифрових вхідних значень, обробка даних з клавіатури (придушення джиттера та визначення ймовірності), а також приймання команд і даних через послідовний інтерфейс. Ці вхідні сигнали використовуються для виконання обчислень відповідно до запрограмованих функцій і заданих користувачем параметрів. Потім інформація виводиться на імпульсні виходи, цифрові виходи та елементи індикації, а обчислені значення записуються для режиму передавання через послідовний інтерфейс.

За відсутності команди на зовнішньому цифровому вході контролер працює в режимі ПІД-регулятора. У разі появи зовнішнього сигналу контролер перемикається на блок інтегрування (збалансування) і змінює напрямок регулювання, доки не зміниться сигнал на цифровому вході. За $V_k = 0$ контролер заморожує вихідний сигнал, а перехід у режим ПІД-регулятора також балансується.

Таким чином, регулятор забезпечує аналогове керування за допомогою цифрових входів.

Крім того, регулятор має кілька рівнів захисту, які забороняють небажані дії, що можуть виникнути внаслідок неправильного або випадкового введення значень, перемикання режимів роботи чи несанкціонованого доступу до системи управління з боку неавторизованих осіб.

Під час кожного вмикання живлення пристрій переходить в режим ОПЕРАЦІЇ. З цього рівня можна змінити режим на рівень КОНФІГУРАЦІЯ та НАЛАШТУВАННЯ.

Рівень ОПЕРАЦІЇ зазвичай вибирається для керування контуром управління. Під час роботи можна візуально контролювати виміряні, задані та керовані робочі значення. Крім того, за допомогою світлодіодних індикаторів можна відстежувати аварійні сигнали про процес у разі перевищення верхньої або нижньої межі відхилення.

На робочому рівні можна змінити режим роботи регулятора. Можна переключитися з автоматичного режиму керування на ручний, змінити значення уставки (внутрішнє) і змінити робочі значення регулятора (в ручному режимі).

Існує рівень захисту під час зміни режиму роботи регулятора.

Регулятор МИК-22 має два режими керування регульованим об'єктом: автоматичний режим і ручний режим.

Режим роботи регулятора — автоматичний або ручний — запам'ятовується. Після ввімкнення живлення регулятор переходить в той режим, у якому він перебував під час попереднього вимкнення.

В автоматичному режимі регулятор каналу 1 керує керованим об'єктом відповідно до обраного закону керування і відповідних налаштувань користувача. У цьому режимі горить індикатор I, що означає, що контролер перебуває в режимі повного відображення параметрів каналу 1. В автоматичному режимі роботи індикатор РУ1 для каналу 1 на передній панелі ввімкнений. Щоб переключитися в режим ручного керування каналом 1, необхідно натиснути кнопку [Р/А] на

передній панелі контролера. При цьому індикатор РУ1 на передній панелі починає блимати.

Натискання кнопки [<P] під час миготіння індикатора RU (приблизно 3-4 секунди) блокує обраний режим і перемикає контролер на ручне керування. Індикатор РУ1 загоряється, вказуючи на перехід у ручний режим. Якщо оператор не підтверджує операцію натисканням кнопки [<P], це розпізнається як неправильне або випадкове перемикання режимів роботи. У такому разі індикатор RU перестає миготіти та вимикається, а контролер залишається в автоматичному режимі керування. Це служить рівнем захисту від випадкового перемикання режимів.

Те ж саме стосується перемикання на ручний режим для каналу 2. Для перемикання між ручним і автоматичним режимами каналу 2 використовується кнопка [R/A], яка працює тільки тоді, коли індикатор II горить. Це означає, що контролер перебуває в режимі відображення параметрів каналу 2.

У ручному режимі оператор може керувати виходом контролера за допомогою кнопок [A] ("більше") і [T] ("менше") на передній панелі. Це дозволяє змінювати величину керуючого сигналу, який подається на виконавчий механізм.

Перемикання в автоматичний режим для каналу 2 здійснюється аналогічним чином, використовуючи кнопку [P/A].

Під час увімкнення контролер МИК-22 переходить в режим ОПЕРАЦІЇ: на дисплеї [ПАРАМЕТРИ] відображається виміряне значення каналу 1, а на дисплеї [ЗАВДАННЯ] — виміряне значення каналу 2. Щоб переглянути на контролері уставку каналу 1, потрібно натискати кнопку [MENU], доки не загориться індикатор I, а на дисплеї TASK не з'явиться уставка.

Контролер МИК-22 має тільки внутрішні уставки (setpoints), які використовуються тільки в режимі автоматичного керування. Ці уставки задаються користувачем індивідуально для кожного каналу.

Зміна внутрішніх уставок здійснюється з передньої панелі приладу за допомогою кнопки [Set]. Значення внутрішньої уставки зберігаються в пам'яті. Під

час увімкнення живлення контролер починає працювати з тими значеннями уставок, які були встановлені під час попереднього вимкнення живлення.

Конфігурацію заданих рівнів можна викликати з режиму ОПЕРАЦІЇ шляхом тривалого натискання клавіші [&] (понад 3 секунди). Контролер МИК-22 підтримує роботу як у ручному, так і в автоматичному режимах.

Мікропроцесорний контролер МИК-22 забезпечує можливість зв'язку через інтерфейс RS-485, що дозволяє зовнішньому пристрою (комп'ютеру або мікропроцесорній системі керування) здійснювати управління та зміну його параметрів.

Інтерфейс призначений для використання як віддаленого контролера для налаштування пристрою, інтеграції в сучасні мережі керування та збору даних, а також роботи зі SCADA-системами.

Зв'язок через інтерфейс RS-485 здійснюється за протоколом Modbus у режимі RTU (Remote Terminal Unit).

Для належної роботи необхідно налаштувати комунікаційні параметри контролера МИК-22 відповідно до характеристик обміну даними головного комп'ютера. Мережеві параметри задаються на РІВНІ 19 конфігурації.

Під час передачі даних через інтерфейсний канал індикатор ІНТ, розташований на передній панелі контролера, блимає, що свідчить про активність передачі даних у мережу.

У разі частих збоїв у передачі даних з контролера рекомендується збільшити значення тайм-ауту пристрою. Водночас час повторних запитів від комп'ютера завжди має бути більшим за тайм-аут контролера, що слід враховувати під час налаштування.

Контролер МИК-22 призначений для встановлення на вертикальну панель електричного щита. Його монтаж необхідно здійснювати в герметичному, вибухобезпечному та пожежобезпечному приміщенні. Експлуатація пристрою має відповідати температурним та вологісним умовам, зазначеним в інструкції з експлуатації.

Кабельні з'єднання регулятора МИК-22 здійснюються через клемні колодки відповідних клемно-блочних з'єднувачів відповідно до вимог чинних "Правил улаштування електроустановок".

Регулятор є компактним вільно програмованим пристроєм. Для користувачів без спеціальних знань і навичок програмування передбачена можливість легко викликати та виконувати різні функції шляхом конфігурації регулятора МИК-22. Цей пристрій відзначається високою гнучкістю у використанні: змінивши його конфігурацію, можна швидко й ефективно адаптувати його до виконання більшості завдань керування технологічними процесами.

Конфігурація регуляторів МИК-22 виконується через передню панель або за допомогою гальванічно розділеного інтерфейсу RS-485 (протокол ModBus). Це дозволяє застосовувати регулятор як віддалений контролер у сучасних системах керування та збору даних.

Параметри конфігурації зберігаються в енергонезалежній пам'яті, що забезпечує можливість автоматичного відновлення роботи після перерви у подачі живлення. Додаткова батарея резервного живлення не потрібна.

Для відновлення параметрів налаштування від виробника (встановлення значень за замовчуванням) необхідно виконати такі дії:

- відключити живлення регулятора,
- натиснути клавішу [<P],
- утримуючи натиснутої клавішу [<P] уключити живлення,
- відпустити клавішу [<P].

Після виконання цієї операції необхідно зберегти параметри за замовчуванням в енергонезалежній пам'яті регулятора.

Якщо перехідна функція об'єкта регулювання відома або може бути визначена, параметри регулювання можна встановити згідно з інструкціями, наведеними в технічних довідниках.

Перехідну функцію в режимі роботи регулятора «Ручний режим» можна записати, застосувавши стрибкоподібну зміну керуючого впливу. Характер зміни

регульованої величини в цьому випадку реєструється за допомогою самописного пристрою.

Недоліком цього контролера є обмежена кількість оброблюваних сигналів, що вимагає додаткових конструкторських рішень і обмежує його застосування в технічному процесі переробки відходів пластмас.

3.1.3 Опис функціональної схеми мікропроцесорного контролера переробки пластикових відходів

Функціональна схема мікропроцесорної системи, наведена в Додатку Б

Функціональна схема містить такі компоненти. Інтерфейс RS232 підключений до виходів Tx (P3.0) і Rx (P3.1) мікроконтролера (МК). Лінія Tx використовується для передачі даних з периферійної станції до ПК, а лінія Rx — для прийому даних з ПК.

Супервізор живлення з WDT захистом підключений до входу RST мікроконтролера, а також до інтерфейсу RS232, що дозволяє скинути ядро через цей інтерфейс. Вхід WDT періодично отримує імпульси запуску від мікроконтролера. Є роз'єм для встановлення мікроконтролера в корпус DIP40. Вхідний аналоговий мультиплексор комутує вхідні сигнали для аналого-цифрового перетворювача (ADC), а керування його роботою здійснюється подачею коду на інформаційні входи з молодших ліній виводу регістра 12.

Формувач даних під'єднаний до ліній порту P0 мікроконтролера, а регістр-засувка для молодшого байта адреси визначає стробування адреси високим рівнем на виході ALE МК. Вхід регістру також підключений до ліній порту P0 мікроконтролера. Дешифратор адреси отримує сигнал від старших ліній порту P2.

Дешифратор вибору стовпців клавіатури отримує сигнали з ліній P3.2 і P3.3 МК.

Операційний підсилювач дозволяє вибирати полярність сигналу та коефіцієнт підсилення. Регістри управління мультиплексором (3 канали управління) і операційним підсилювачем із змінним коефіцієнтом підсилення (5

каналів управління) подають сигнали на аналого-цифровий перетворювач (АЦП).

Регістр введення даних із клавіатури отримує сигнали з клавіатури, а його вихід підключений до шини даних для завантаження. Клавіатура 3x4 використовується для введення даних.

Середньошвидкісний ADC з розрядністю 12 біт та зв'язком через SPI отримує сигнали від ОК16. Швидкодіюча оперативна пам'ять з паралельним доступом підключена до ліній шини адреси, а її вихід з'єднаний з шиною даних. Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) з 8 бітами розрядності має зв'язок через паралельний інтерфейс, а сигнали з його виходу надходять на роз'єм ХС5.

Таймер реального часу з паралельним доступом та вбудованою енергонезалежною оперативною пам'яттю підключений до ліній шини адреси на вході, а його вихід з'єднаний з шиною даних магістралі.

Регістр керування світлодіодним динамічним індикатором отримує сигнали з шини даних магістралі на вході. Система містить чотири восьмисегментних світлодіодних індикатори, де формування зображення здійснюється за допомогою регістра 10. Регістр уведення зовнішньої інформації підключений до роз'єму ХС6 на вході і до шини даних магістралі на виході. Регістр виводу інформації підключений до шини даних на вході, а його вихід з'єднаний з роз'ємом ХС7.

Датчик температури

У цій роботі використовується дистанційний електропередавальний платиновий термометр опору (ТСП) типу ТСП-5071-01, який входить до складу Національної системи автоматизованих промислових приладів. Датчик призначений для перетворення вимірюваної температури в стандартний електричний сигнал.

Ці датчики є безмасштабними та застосовуються в системах автоматичного контролю та регулювання. Вони герметичні, встановлюються окремо й підключаються до контролера за допомогою кабелів, що входять до складу державної системи промислових приладів і автоматики.

Принцип роботи датчика полягає у вимірюванні температури, внаслідок чого змінюється опір сенсора, який перетворюється на пропорційний та стандартизований електричний сигнал.

Виконавчий механізм.

У цьому дослідженні як імпульсний привід для керування подачею води використовувався електромагнітний клапан Данфосс типу EV310B 1.5B з позиційним регулюванням. Клапан оснащений електромагнітною котушкою, призначеною для роботи з нейтральними середовищами.

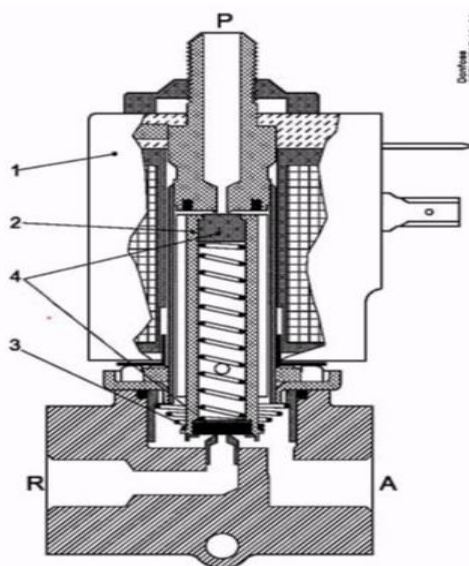


Рис 3.5 - Клапан типу EV310B NC 1.5Y.

Таблиця 3.1

Технічні характеристики клапана типу EV310B NC 1.5Y

Тип	EV310B NC 1,5
Установка	Рекомендується установка котушкою нагору
Діапазон тиску, бар	0-2
Макс, іспитовий тиск, бар	50
Приєднання, "	G 1/8 - G 3/8
Ку, МЛ/Ч	0,08 - 0,4
Робітниче середовище'1'	Вода, повітря і подібні нейтральні середовища

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ХНТУ151.КРМ.23.01 ПЗ

Лист

60

Макс, температура навколишнього середовища,	40
Робоча температура, °C	Від -10 до + 100
Макс, в'язкість, cSt	50

Серія EV310B NO 1,5 - 3,5 з котушкою перемінного струму 50Гц. Матеріал корпусу - латунь.

Електромагнітний клапан

- 1) котушка;
- 2) пружина якоря;
- 3) тарілка клапана;
- 4) регулюючі отвори;

Р - вхідний отвір;

А - головний отвір;

В - випускний отвір.

Принцип роботи нормально закритого електромагнітного клапана

Клапан у закритому стані (напруга на котушку не подається): Коли на котушку не подається напруга, якор (2) і тарілка клапана (4) утримуються пружиною (3), що закриває прохід між вхідним і головним отворами. Водночас прохід між вхідним і випускним отворами залишається відкритим. Таким чином, клапан залишається закритим за відсутності напруги.

Клапан у відкритому стані (напруга на котушку подається): Коли на котушку подається напруга, якор (2) і тарілка клапана (4) піднімаються, перекриваючи прохід між вхідним і випускним отворами. У цей момент відкривається прохід між вхідним і головним отворами. Клапан залишається відкритим, поки на котушку подається напруга.

У цьому клапані, що використовується в даній сушильній машині, застосовується котушка змінного струму, розрахована на напругу 220 В. Технічні характеристики електромагнітної котушки наведені в таблиці 1.7.

Таблиця 3.2

Технічні характеристики електромагнітної котушки.

Споживана потужність при включенні (змін струм), ВА, VA	39
Споживана потужність при включенні (змін струм), BD, VA	54
Споживана потужність, ВА	ас: 19 VA, 9 W
Клас ізоляції	клас H по IEC 85
З'єднання	клемна коробка або вихід трьох приєднувальних проводів
Клас захисту	IP 00, IP 20, IP 60
Макс, температура навколишнього середовища, °З	40

3.1.4 Опис обраної SCADA-системи

SimpleScada є потужним інструментом для автоматизації та моніторингу виробничих процесів, який забезпечує ефективне управління технологічними процесами. У контексті автоматизації процесу переробки пластикових відходів, SimpleScada надає ряд можливостей, що дозволяють оптимізувати роботу системи. Ось декілька ключових можливостей

SimpleScada забезпечує моніторинг та контроль всіх технологічних процесів у реальному часі. Це дозволяє операторам швидко реагувати на будь-які відхилення або несправності, забезпечуючи безперебійну роботу системи.

Інтерфейс SimpleScada дозволяє створювати графічні панелі управління, на яких відображаються ключові параметри процесу переробки, такі як температура, тиск, витрати, рівні заповнення тощо. Це полегшує розуміння стану системи та прийняття оперативних рішень.

Система збирає та зберігає дані про всі виробничі процеси, що дозволяє проводити детальний аналіз ефективності роботи, виявляти проблемні зони та розробляти рекомендації щодо їх усунення. Крім того, SimpleScada надає можливість створювати звіти для оцінки продуктивності та якості роботи.

SimpleScada підтримує інтеграцію з різноманітними промисловими мережами та пристроями, такими як програмовані логічні контролери (ПЛК), датчики, приводи та інші компоненти системи автоматизації. Це дозволяє створити єдину інтегровану систему керування, що охоплює всі етапи переробки пластикових відходів.

Система забезпечує високий рівень безпеки даних та доступу. Користувачі можуть налаштовувати рівні доступу для різних груп користувачів, що забезпечує захист від несанкціонованих дій та збереження конфіденційності інформації.

Завдяки можливостям моніторингу та аналізу, SimpleScada дозволяє швидко виявляти та усувати проблеми, що виникають у процесі переробки пластикових відходів. Це сприяє підвищенню загальної ефективності та продуктивності виробництва.

Автоматизація процесу за допомогою SimpleScada допомагає зменшити витрати на обслуговування та ремонт обладнання, а також мінімізувати втрати матеріалів. Це досягається завдяки своєчасному виявленню несправностей та запобіганню аварійним ситуаціям.

Автоматизований контроль параметрів процесу переробки забезпечує стабільні умови для досягнення високої якості кінцевого продукту. Це важливо, особливо у виробництві перероблених матеріалів, де контроль якості є критичним фактором.

Завдяки точному контролю та оптимізації процесів, SimpleScada сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Система допомагає ефективніше використовувати ресурси та зменшувати викиди шкідливих речовин. Застосування SimpleScada в автоматизованій системі управління технологічним процесом (АСУТП) переробки пластикових відходів є доцільним з кількох причин:

SimpleScada забезпечує комплексний підхід до автоматизації, охоплюючи всі етапи технологічного процесу. Це дозволяє інтегрувати всі виробничі операції в єдину систему керування, що сприяє покращенню координації та управління.

Система дозволяє легко адаптуватися до змін у виробничих процесах та вимогах. Можливість додавання нових модулів та компонентів робить її масштабованою, що важливо для підприємств, які планують розширення або модернізацію своїх виробничих потужностей.

Автоматизація процесу переробки за допомогою SimpleScada знижує ризик людських помилок, підвищує надійність та безпеку роботи обладнання. Це особливо важливо для складних технологічних процесів, де помилки можуть призвести до значних втрат або аварійних ситуацій. Загалом, застосування SimpleScada в АСУТП переробки пластикових відходів забезпечує підвищення ефективності, зменшення витрат, поліпшення якості продукції та зниження екологічного впливу. Це робить її незамінним інструментом для сучасних підприємств, що прагнуть досягнути високих стандартів якості та сталого розвитку.

3.1.5 Розробка екранних форм для управління установкою

Управління екструзійною установкою в автоматизованій системі реалізовано за допомогою SCADA-системи Simple-Scada. Це сучасна та доступна SCADA-система, яка забезпечує збір, обробку, архівування та візуалізацію технологічних процесів. Головна мета проекту – простота та зручність використання для кінцевого користувача.

Зв'язок із об'єктами автоматизації забезпечується за допомогою технології OPC. Обрана SCADA-система не обмежує вибір апаратного забезпечення нижнього рівня, оскільки надає великий набір драйверів і серверів введення/виведення. Це дозволяє підключати зовнішні, автономно працюючі компоненти, у тому числі розроблені окремо програмні й апаратні модулі сторонніх виробників.

Simple-Scada підтримує сенсорні екрани, протестовані на промислових панелях і планшетах. Вона забезпечує можливість організації клієнт-серверної архітектури

з будь-якою кількістю клієнтів, має захищений канал зв'язку для роботи в локальній мережі та через інтернет, підтримує скриптову систему з широким набором готових процедур і функцій для вирішення завдань будь-якої складності. Система дозволяє програмувати події для об'єктів за допомогою скриптів, працювати з локальними чи віддаленими OPC DA-серверами, використовувати редактор змінних та імпортувати теги з OPC-серверів.

Гнучка система прав користувачів, бібліотека графіки в мінімалістичному стилі, база даних трендів і повідомлень MySQL, можливість групового редагування властивостей об'єктів, автоматична адаптація мнемосхем під роздільну здатність екрана та багато інших функцій роблять Simple-Scada універсальним інструментом для автоматизації технологічних процесів. Система також підтримує експорт даних трендів і повідомлень у файли Excel, ведення журналу дій оператора, кольорову підсвітку аварійних та попереджувальних подій, звукові сповіщення та анімацію.

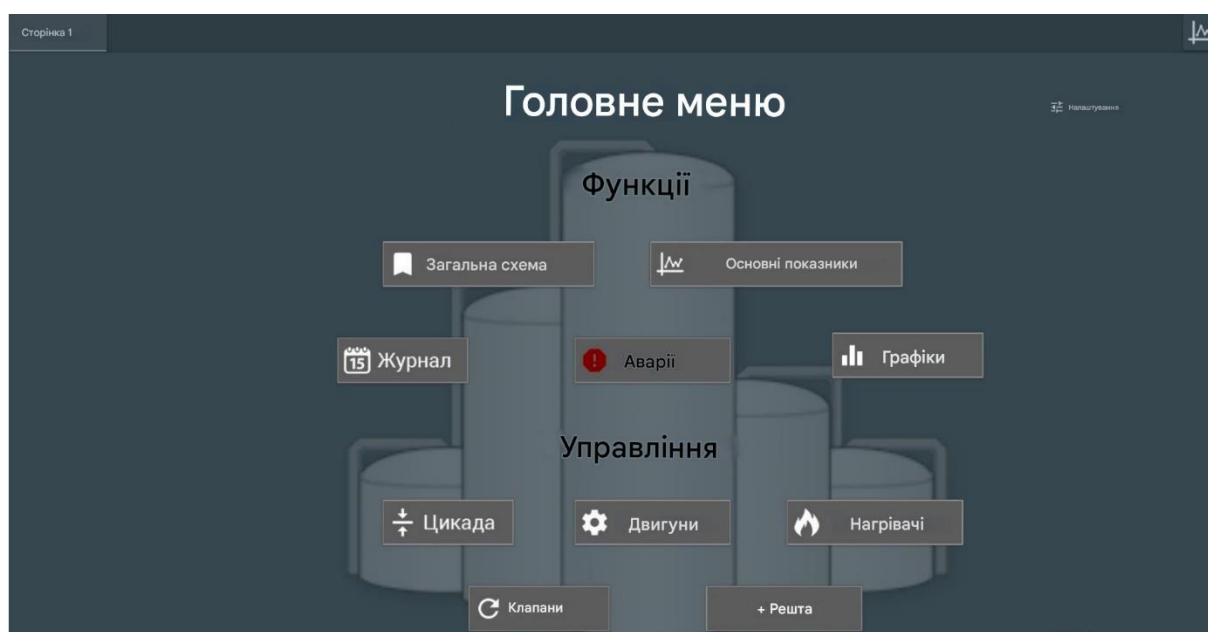


Рис. 3.6

Дерево екранних форм розроблене таким чином, що користувач, пройшовши авторизацію, потрапляє до головного меню Рис. 3.6. Дерево екранних форм головного меню наведено в Додатку Ж. Звідти він може переходити до різних екранних форм: інформація, налаштування, аварії, загальна схема, основні показники, графіки, журнал, цикада, двигуни, клапани, нагрівачі та зворотний

зв'язок. Залежно від прав користувачі поділяються на диспетчера, старшого диспетчера та інженера АСУ ТП.. Диспетчер керує процесами та переглядає форми, старший диспетчер має доступ до архівів, а інженер АСУ ТП лише переглядає форми без впливу на процеси, хоча може налаштовувати форми за дозволом старшого диспетчера.

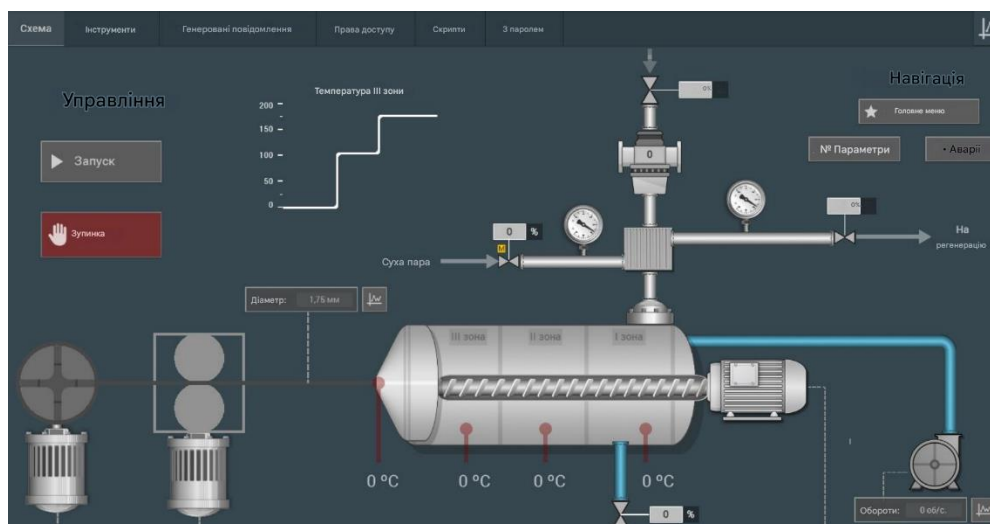


Рис. 3.7

Екранна форма загальної схеми Рис. 3.7 містить інформацію з датчиків витрати, температури, тиску, а також дані про напругу, струм і ступінь відкриття клапанів. дозволяє відображати графік одного з параметрів, запускати та зупиняти процеси, головне меню та екранна форма основних параметрів наведені в додатку 3. Диспетчер контролює весь технологічний процес і може здійснювати регулювальні дії за необхідності.

3.2 Висновок до розділу 3

У третьому розділі було здійснено розробку комп'ютерно-інтегрованої системи керування технологічним процесом переробки відходів пластмас. Проведений аналіз існуючих рішень у сфері автоматизації вимірювання температури та розробки автоматизованих систем керування дозволив визначити ключові параметри та вимоги до такої системи. Було досліджено різні типи термометрів,

принципи їх дії, а також аспекти вибору оптимального обладнання для умов конкретного технологічного процесу.

Особливу увагу було приділено мікропроцесорному регулятору МИК-22, який забезпечує високу точність підтримання параметрів за допомогою ПІД-регулювання. Були розглянуті його функціональні можливості, характеристики та переваги для інтеграції в автоматизовану систему. На основі регулятора було розроблено структуру системи контролю температури в плавильній камері.

У роботі наведено приклад використання платинових термометрів опору, які відзначаються високою точністю та надійністю, а також електромагнітних клапанів для управління потоками робочого середовища.

Для моніторингу та управління процесом переробки було обрано SCADA-систему SimpleScada, що забезпечує централізоване керування, збір і аналіз даних.

У результаті виконаних досліджень і розробок була створена структура автоматизованої системи управління технологічним процесом, яка дозволяє ефективно контролювати ключові параметри, забезпечуючи високу якість продукції та мінімізуючи вплив людського фактора. Представлені екранні форми для управління екструзійною установкою демонструють зручність використання та адаптацію до сучасних вимог автоматизації.

ВИСНОВОК

У цьому дипломному проекті розроблена мікропроцесорна система керування для контролю та захисту ліфта.

Система запитує дані з датчиків швидкості приводу та датчиків вібрації стрічки ліфта, що підвищує безпеку виробництва та дозволяє уникнути аварійних ситуацій.

Система побудована на базі мікроконтролера Microchip PIC16F87, який є найкращим вибором для вирішення цього завдання.

Особливу увагу зосередили на мікропроцесорному регуляторі МИК-22, який забезпечує високу точність підтримання параметрів завдяки ПІД-регулюванню. Були детально розглянуті його функціональні можливості, технічні характеристики та переваги для інтеграції в автоматизовану систему. На основі цього регулятора було створено структуру системи контролю температури в плавильній камері.

Ключовим етапом роботи стала розробка функціональної схеми мікропроцесорної системи, яка включала основні компоненти: датчики температури, аналого-цифрові перетворювачі, виконавчі механізми та інтерфейси зв'язку. У дослідженні наведено приклад використання платинових термометрів опору, які вирізняються високою точністю та надійністю, а також електромагнітних клапанів для регулювання потоків робочого середовища.

Крім мікроконтролера, система містить блок індикації, блок гальванічної розв'язки та потужний вихідний блок транзисторних ключів з відкритим колектором для ефективного управління запуском та зупинкою двигуна.

Для контролю та управління процесом переробки було обрано SCADA-систему SimpleScada, яка забезпечує централізоване керування, збір та аналіз інформації. Завдяки її функціоналу, що включає інтеграцію з промисловими мережами, створення графічних інтерфейсів, архівацію даних і підтримку клієнт-серверної архітектури, впровадження системи стає значно простішим.

.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Horowitz, P., & Hill, W. (2015). *The Art of Electronics* (3rd ed.). Cambridge: Cambridge University Press..
2. Sedra, A. S., & Smith, K. C. (2020). *Microelectronic Circuits* (8th ed.). New York: Oxford University Press. Аркадъев В.Ю.
3. Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering* (5th ed.). Pearson.
4. Barr, M., & Massa, A. (2006). *Programming Embedded Systems in C and C++*. Sebastopol: O'Reilly Media.
5. Pecht, M. (2009). *Reliability of Electronic Components*. Boca Raton: CRC Press.
6. Jacob, B. (2008). *Memory Systems: Cache, DRAM, Disk*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
7. Pressman, R. S. (2020). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (9th ed.). New York: McGraw-Hill.
8. Razavi, B. (2003). *Design of Analog CMOS Integrated Circuits*. New York: McGraw-Hill.
9. Kühnel, D. (2010). *Microcontrollers: Principles and Applications*. Elsevier.
10. Самофалов К.Г. *Мікропроцесори*. – К.: Техніка, 1986. – 278 с.
11. Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2016). *Modern Control Systems* (13th ed.).
12. Isermann, R. (2011). *Automation Systems for Control and Data Acquisition*. Springer.
13. Groover, M. P. (2014). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (4th ed.).
14. Bechhoefer, E., & Kingsley, M. (2009). *Control Theory for Engineers*. Springer.
15. Schneider, D. E. (2016). *Industrial Automation: Hands-On*. McGraw-Hill Education.
16. Lienig, J., & Bruemmer, H. (2017). *Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics for Automation*. Springer.
17. Kemp, D. (2014). *Process Automation Handbook: A Guide to Theory and Practice*.

18. Liptak, B. G. (2018). *Instrument Engineers' Handbook: Process Control and Optimization* (5th ed.).
19. Spath, D. (2013). *Automation in Automotive Industries: Recent Advances*.
20. Luyben, W. L. (2011). *Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers* (3rd ed.).
21. Bryant, R., & Veal, R. (2011). *Programmable Controllers: Theory and Implementation* (3rd ed.).
22. Bennett, S. (1993). *A History of Control Engineering, 1930–1955*. Institution of Engineering and Technology (IET).
23. Seifert, J. W. (2018). *Industrial Automation: Circuit Design and Components*.
24. Chen, W. K. (2006). *The Electrical Engineering Handbook: Control and Systems*.
25. Doebelin, E. O., & Manik, D. N. (2011). *Measurement Systems: Application and Design* (6th ed.).
26. Hughes, T. A. (2005). *Measurement and Control Basics* (4th ed.). ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society..
27. Bailey, D., & Wright, E. (2003). *Practical SCADA for Industry*.
28. Archer, T. D. (2006). *Introduction to Advanced System-on-Chip Test Design and Optimization*.
29. Sexton, T. W. (2016). *Practical Process Control for Engineers and Technicians*.
30. Anderson, N. A. (2004). *Instrumentation for Process Measurement and Control* (3rd ed.).
31. Webster, J. G. (2000). *The Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook*.
32. John, K., & Tiegelkamp, M. (2010). *IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems*.

ДОДАТОК А

ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛЯТОРУ МИК-22

Таблиця Б.1

Технічні характеристики аналогових входних сигналів

Технічна характеристика	Значення
Кількість аналогових входів	2
Тип вхідного аналогового сигналу	Уніфіковані ДСТ26.011-80 0-5 мА, Квх=400 Ом 0-20 мА, Квх=100 Ом 4-20 мА, Квх=100 Ом 0-10В, Квх=27 кОм (за вимогою замовника) Термопреобразователи опорів ДСТУ2858-94 ТСМ 50М, W _{оо} =1,426, -50 ... +200°C ТСМ 100М, W _{оо} =1,426, -50 ... +200°C ТСМгр.23, -50...+180°C ТСП 50П, W _{іоо} =1,391, -50 ... +650°C ТСП 100П, W _{іоо} =1,391, -50 ... +650°C ТСПгр.21,-50...+650°C Напруга 0...75 мВ Напруга 0 ... 200 мА Напруга 0...2 В
Здатність, що дозволяє, АЦП	S 0,024 % (12 розрядів)
Межа основної приведеної погрішності, що допускається, виміру входних параметрів	S 0,2 % для уніфікованих аналогових входів S 0,2 % або S 0,5°C для датчиків ТСМ S 0,2 % або S 1 ,4°C для датчиків ТСП
Точність індикації	0,01 %
Період виміру	Не більш 0,1 сек
Період відновлення інформації на дисплеї	Не більш 0,5 сек
Гальванічна розв'язка аналогових	Кожен вхід гальванически ізольований

входів	від інших входів і інших ланцюгів
--------	-----------------------------------

Аналоговий вихідний сигнал АТ - вихідний аналоговий сигнал керування зовнішнім виконавчим механізмом (керуючий вплив).

Таблиця Б.2

Технічні характеристики аналогових уніфікованих вихідних сигналів

Технічна характеристика	Значення
Кількість аналогових виходів	1
Тип вихідного аналогового сигналу	Уніфіковані ДСТ26.011-80 0-5 мА, RHS2000ОМ 0-20 мА, rh S 500 Ом 4-20 ма, rh S 500 Ом 0-1 ОВ, rh s 2000 Ом - за вимогою замовника
Здатність, що дозволяє, ЦАП	0,4 % (8 розрядів)
Межа основної приведеної погрішності, що допускається, формування вихідного сигналу після калібрування	S 0,5 %
Залежність вихідного сигналу від опору навантаження	S 0,1 %
Вплив температури навколишнього середовища	S 0,04 %
Гальванічна розв'язка аналогового виходу	Вихід гальванически ізольований від інших виходів і інших ланцюгів

Таблиця Б.3

Технічні характеристики дискретних входних сигналів

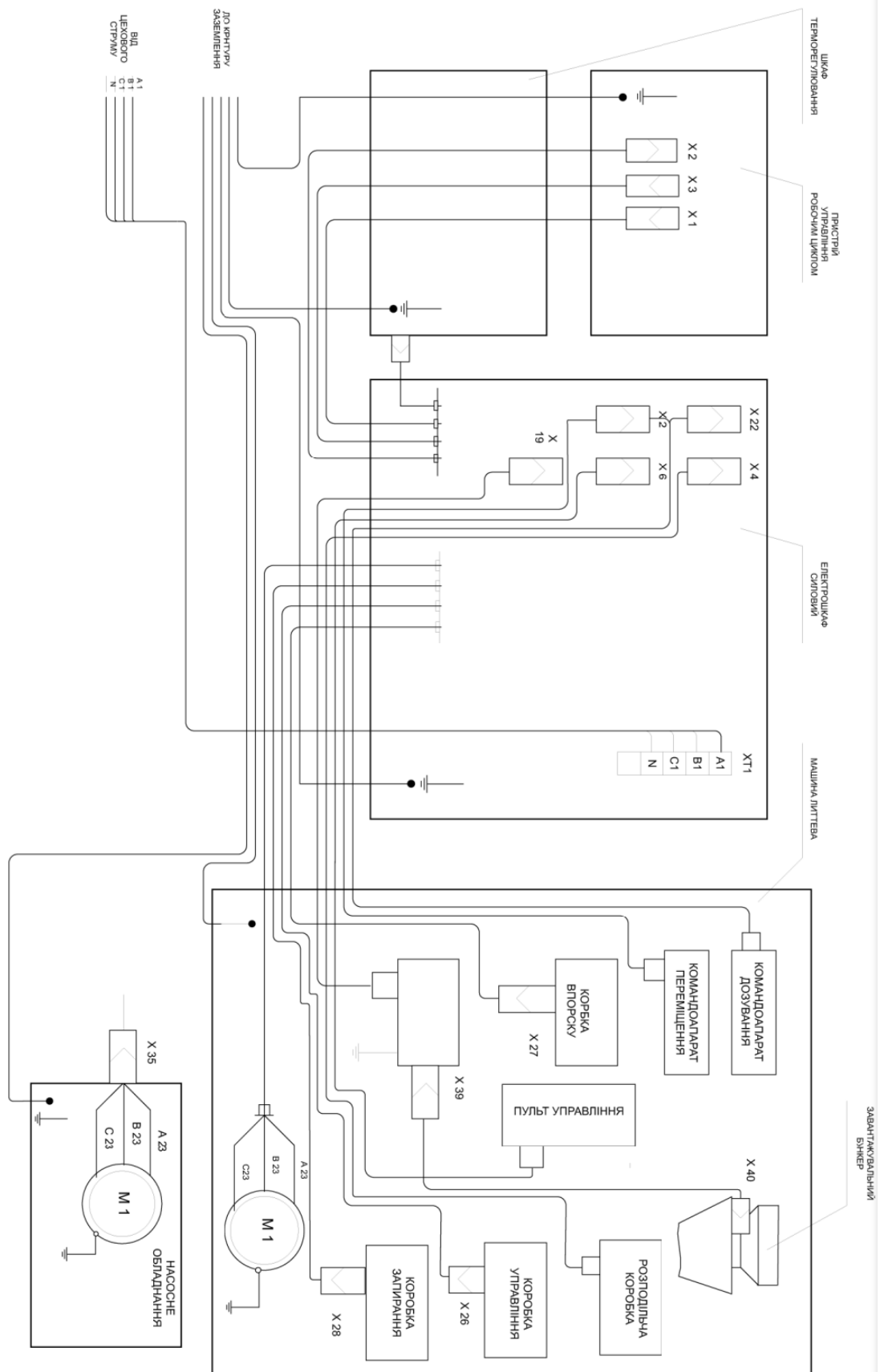
Технічна характеристика	Значення
Кількість дискретних входів	2
Сигнал логічного "0" Сигнал логічної "1"	0-7В, негативної полярності 18-30В, негативної полярності
Вхідний струм	До 10 ма
Гальванічна розв'язка дискретних входів	Входи зв'язані попарно і гальванічески ізольовані від інших входів і інших ланцюгів

Таблиця Б.4

Технічні характеристики електроживлення

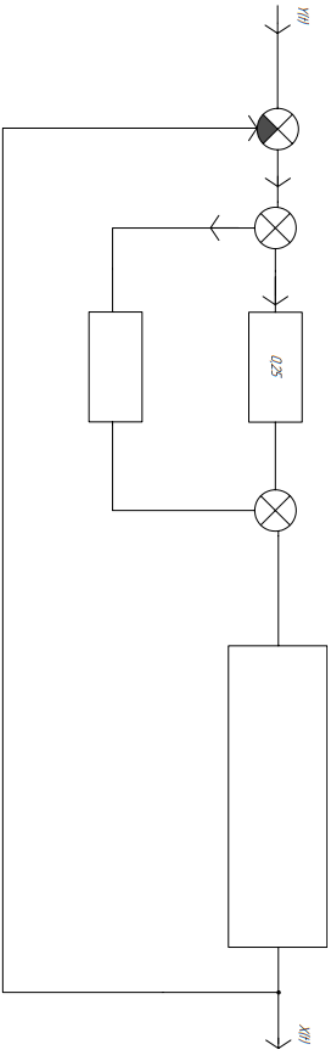
Технічна характеристика	Значення
Електроживлення (підключення до мережі)	~ 220 (+22 -33)В, (50±1)Гц
Споживана потужність	До 8,5 Вт
Захист даних	EEPROM, сегнетоелектрическая NVRAM
Підключення	З задньої сторони приладу за допомогою раз'єму - клеми.

ДОДАТОК Б



ДОДАТОК В

СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ПЛАВИЛЬНІЙ КАМЕРІ



АПРОКСИМАЦІЯ РОЗГОННОЇ КРИВОЇ

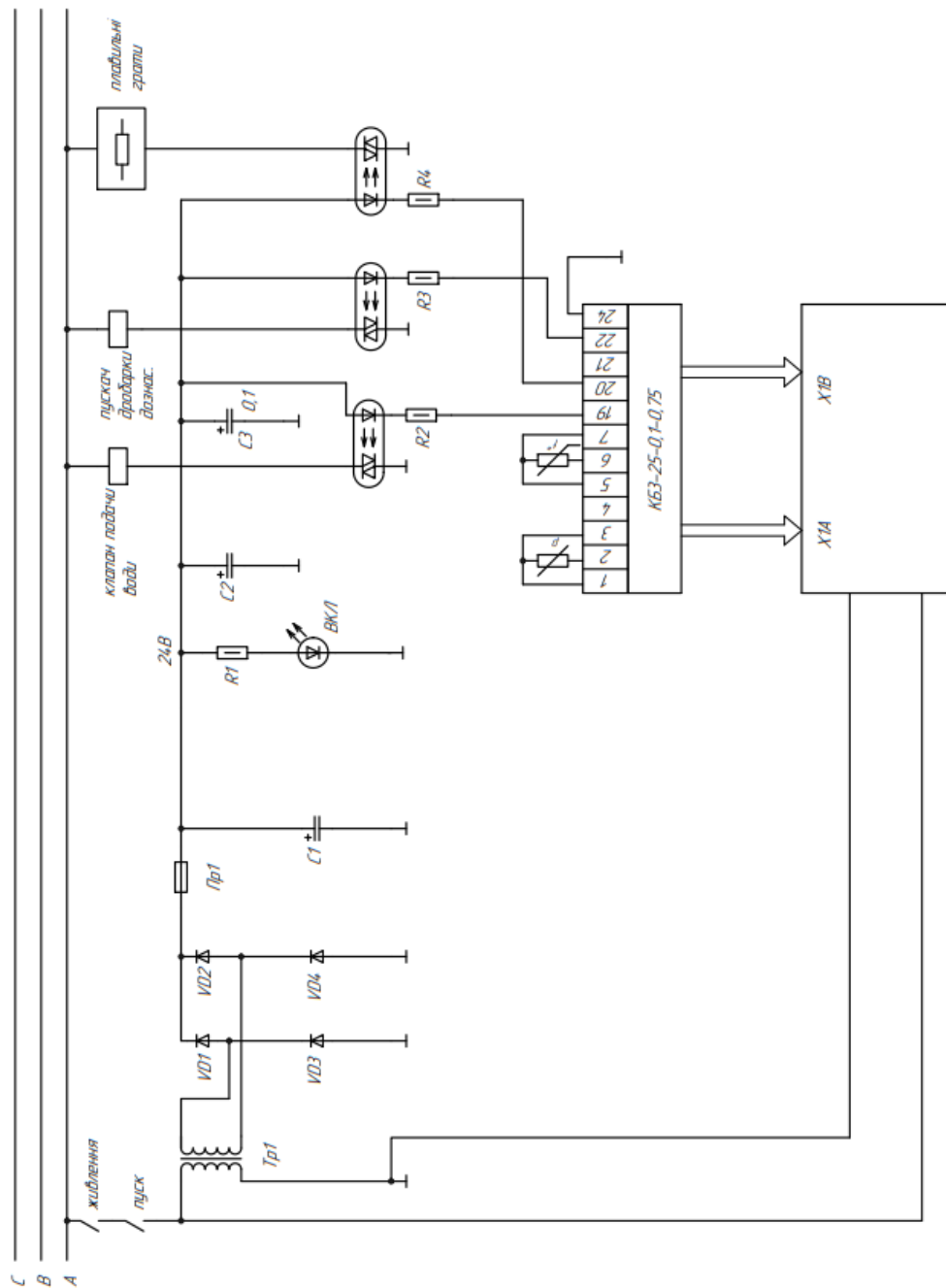
н/п

ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС СИСТЕМИ З РЕГУЛЯТОРОМ

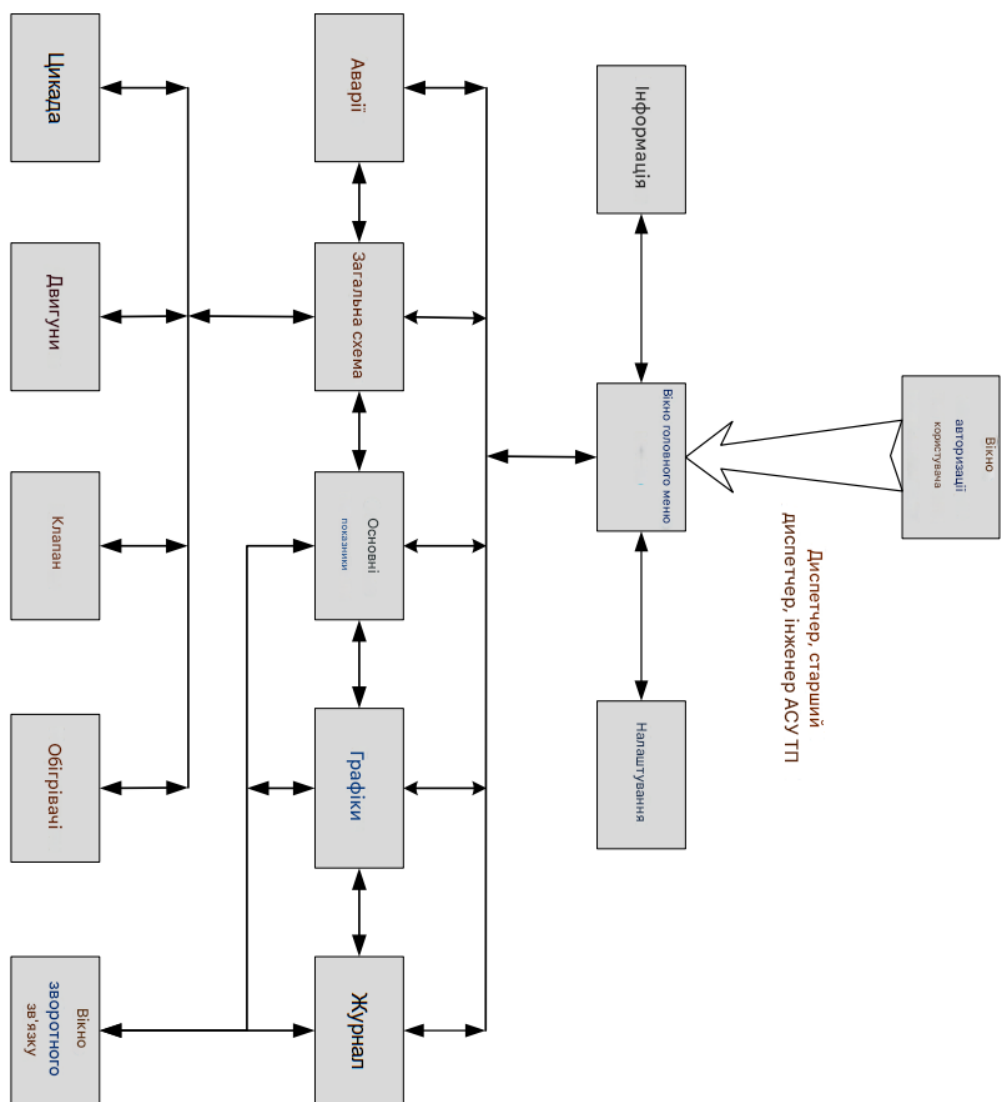
н/п

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

ДОДАТОК Г



ДОДАТОК Д



ДОДАТОК Е

