

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ

Група АКП-23-2К

Станіслав Підгородецький

2025

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Підгородецький Станісла Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.53

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розробка системи автоматизації технологічного процесу виробництва лакових смол

(назва роботи)

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Нормоконтроль

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

О.В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-23-2К

(шифр групи)

С.Р. Підгородецький

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

І. І. Чигур

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

к.т.н., доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І.Лагода

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту Завідувач кафедри

к.т.н., доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2025

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 06.11.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу виробництва лакофарбових смол	13.05.2025 р.	
2	Ідентифікація об'єкта керування та синтез системи автоматизованого регулювання.	11.05.2025 р.	
3	Розвиток САК на основі інтелектуальних технологій.	13.05.2025 р.	
4	Розробка системних рішень для автоматичної системи керування.	21.05.2025 р.	
5	Розробка щита керування	22.05.2025 р.	

Студент _____
(підпис)

Підгородецький С.Р
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Лагойда А.І
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 97 сторінок друкованого тексту, 48 рисунків, 4 таблиці, 15 посилання на джерела.

Тема: «Розробка системи автоматизації технологічного процесу виробництва лакових смол»

Об'єкт дослідження: Автоматизована система синтезу алкідних лакових смол.

Мета роботи: Підвищення ефективності та стабільності технологічного процесу виробництва алкідних смол шляхом впровадження сучасної автоматизованої системи регулювання температури з урахуванням динаміки об'єкта керування та особливостей поліконденсаційної реакції.

Методи дослідження: експериментальне моделювання автоматичної системи виробництва лакових смол.

Результати бакалаврської роботи: Для досягнення поставленої мети було проведено опис технологічної схеми синтезу алкідних лакових смол, наведено технічні характеристики основного технологічного обладнання — вертикального реактора з сорочкою та системою перемішування. Здійснено вибір і обґрунтування параметрів, що підлягають контролю та регулюванню, зокрема температури реакційної маси та в'язкості. Проведено математичний опис об'єкта керування, що включає моделі теплового балансу реактора та кінетики поліконденсації. На основі отриманих експериментальних даних змодельовано автоматизовану систему керування (АСК) температурою. За допомогою програмного пакету Matlab/Simulink розраховано параметри налаштування ПІ-регулятора для одноконтурної АСР температури. Проведено моделювання та аналіз показників якості регулювання (перерегулювання, час перехідного процесу, статична похибка) до і після налаштування регулятора.

Ключові слова: виробництві алкідних смол, автоматизація, контроль.

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains: 97 pages of printed text, 48 figures, 4 tables, 15 references to sources.

Topic: "Development of a system for automating the technological process of varnish resin production"

Object of research: Automated system for the synthesis of alkyd varnish resins.

Project goal: Increasing the efficiency and stability of the technological process of alkyd resin production by implementing a modern automated temperature control system taking into account the dynamics of the control object and the characteristics of the polycondensation reaction.

Research methods: experimental modeling of an automatic system for the production of varnish resins.

Results of the bachelor's thesis: To achieve the set goal, a description of the technological scheme for the synthesis of alkyd varnish resins was carried out, technical characteristics of the main technological equipment - a vertical reactor with a jacket and a mixing system - were given. The parameters subject to control and regulation were selected and justified, in particular the temperature of the reaction mass and viscosity. A mathematical description of the control object was carried out, including models of the reactor heat balance and polycondensation kinetics. Based on the experimental data obtained, an automated temperature control system (ACS) was modeled. Using the Matlab/Simulink software package, the PI controller settings for a single-loop ACP temperature were calculated. Modeling and analysis of control quality indicators (overshoot, transient time, static error) before and after controller settings were carried out.

Keywords: alkyd resin production, automation, control.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ЛАКОВИХ СМОЛ.....	11
1.1 Призначення установки та суть процесу.....	11
1.2 Характеристика продукції, сировини та реагентів.....	12
1.3 Аналіз технологічної схеми установки (автоматизованого виробництва лакофарбових смол).....	20
1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання.....	20
1.5 Вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання.....	21
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	24
2.1 Опис реактора як технологічного об'єкта керування.....	24
2.2 Математична модель ТОК	25
2.3 Рівняння балансів.....	26
2.4 Лінеаризація рівнянь.....	29
2.5 Рівняння в формі Коші.....	31
2.6 Перевірка керованості системи.....	32
2.7 Перетворення за Лапласом змінної часу.....	33
2.8 Передатні функції за каналами збурення і керування	34
2.9 Перехідні та імпульсні функції ТОК.....	35

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Автоматизована система виробництва лакових смоЛ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Підгородецький С.Р				н	6	79
<i>Перевір.</i>		Лагойда А.І.				ІФНТУНГ АКП-23-2К		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		Кучмистенко О.В.						
<i>Затверд.</i>		Лагойда А.І.						

РОЗДІЛ 3 СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ	38
3.1 Синтез одноконтурної системи автоматичного керування	38
3.2 Синтез ефективних систем автоматичного керування	41
3.3 Аналіз роботи розробленої системи автоматичного керування.....	43
3.4 Синтез каскадної системи автоматичного керування.....	44
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК	46
4.1 Опис функціональної схеми автоматизації	49
4.2 Вибір технічних засобів автоматизації.....	52
4.3 Розробка функціональної автоматизованої схеми виробництва лакофабрових смол.....	58
4.4 Розробка додаткових проектних рішень.....	65
РОЗДІЛ 5 ПРОЕКТУВАННЯ ЩИТА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	68
5.1 Проектування щита.....	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	71
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	73
ДОДАТОКИ.....	74

ВСТУП

Сфера виробництва лакофарбової продукції активно еволюціонує, орієнтуючись на модернізацію технологічних процесів і впровадження нових матеріалів, які відповідають сучасним вимогам промислових секторів. Алкідні смоли залишаються одними з найпопулярніших зв'язувальних речовин, які застосовуються у виготовленні лаків, емалей, ґрунтовок та інших лакофарбових засобів. Завдяки своїм універсальним характеристикам, ці смоли мають значну частку на ринку та ефективно використовуються для обробки металевих, дерев'яних, бетонних та інших поверхонь.

Технологія виробництва алкідних смол базується на реакції між багатоатомними спиртами (наприклад, гліцерином) і органічними кислотами (такими як фталевий ангідрид або жирні кислоти), в результаті чого утворюються складні ефіри. Одним з критичних факторів у цьому процесі є контроль температури, яка визначає інтенсивність реакції, рівень полімеризації та якість отриманого матеріалу.

Автоматизоване керування температурним режимом відіграє ключову роль у підвищенні ефективності синтезу. Сучасні системи автоматизації дають змогу точно регулювати температурні параметри, зменшувати споживання енергії та мінімізувати ризики, пов'язані з людським втручанням. Зокрема, автоматичні температурні регулятори контролюють нагрівання й охолодження реакційної суміші, забезпечуючи стабільні характеристики, що відповідають вимогам до алкідних смол.

Окрему увагу приділяють екологічним аспектам виробничого процесу. Сучасні технології дають змогу зменшити обсяг шкідливих викидів, зокрема водяної пари й летких органічних речовин, завдяки використанню ефективних систем рекуперації тепла та конденсації. Це дозволяє досягти високих екологічних стандартів і знизити вплив на довкілля.

У межах цього курсового проєкту буде проведено глибокий аналіз технічних і автоматизованих рішень для оптимізації процесу поліконденсації.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Основними завданнями стануть: опис технологічних етапів синтезу алкідних смол, проєктування системи автоматизації температурного контролю, підбір необхідного обладнання та розрахунок ключових параметрів, що впливають на якість готової продукції.

Рекомендації та технічні рішення, запропоновані в роботі, спрямовані на підвищення продуктивності виробництва, зменшення енергоспоживання та зміцнення позицій продукції на ринку. Вдосконалення технологічного процесу дозволить отримувати смоли з поліпшеними експлуатаційними властивостями, які відповідатимуть актуальним вимогам промисловості.

Під час синтезу алкідних смол важливо дотримуватись чіткої послідовності операцій та контролювати умови на кожному етапі. Спочатку у реактор із терморегульованою сорочкою завантажують компоненти — жирні кислоти, фталевий ангідрид та гліцерин. Перемішування забезпечує рівномірний розподіл реагентів і створення однорідної маси.

Початковий етап включає нагрівання сировини до 160–180 °С за допомогою теплоносія. Це сприяє розплавленню та змішуванню компонентів. Далі розпочинається основна фаза поліконденсації, під час якої температура підвищується до 220–250 °С, що забезпечує перебіг реакції та видалення побічного продукту — води, яка відводиться через конденсатор.

Процес контролюється з використанням датчиків температури та в'язкості. Останні дозволяють оцінити ступінь полімеризації смоли — ключового параметра на фінальних стадіях. Коли досягнуто необхідної в'язкості, реакцію зупиняють і починають охолодження реакційної маси до безпечної температури шляхом пропускання охолоджувача через сорочку реактора.

Завершальний етап передбачає підготовку готового матеріалу до зберігання чи подальшого використання. Смоли за необхідності модифікують різними добавками або пігментами відповідно до призначення. Потім продукція проходить контроль якості: визначають кислотне число, густина, колір та інші параметри.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Завдяки сучасним системам автоматизації вдається інтегрувати всі стадії процесу в єдину керовану систему. Програмовані температурні регулятори дозволяють підтримувати необхідний режим відповідно до технологічних вимог для різних типів смол. Це забезпечує стабільну якість продукту, економію енергоресурсів, скорочення виробничого циклу та зменшення впливу людського чинника.

На сучасному етапі розвитку лакофарбової індустрії особливо актуальним є впровадження інновацій, спрямованих на підвищення ефективності та екологічної безпеки. Це охоплює розробку нових каталізаторів, зменшення кількості побічних продуктів, удосконалення утилізації шкідливих речовин. Завдяки таким підходам виробництво алкідних смол стає більш сталим і здатним до конкуренції на глобальному ринку.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ЛАКОВИХ СМОЛ

1.1 Призначення установки та суть процесу

Процес виготовлення алкідних смол спрямований на отримання високоякісного плівкоутворювального компонента, який слугує базою для створення лакофарбових матеріалів. Алкідні смоли забезпечують покриттям низку важливих властивостей, зокрема:

Захисні властивості: стійкість до впливу зовнішніх факторів, таких як волога, ультрафіолетове випромінювання, механічні навантаження та хімічні речовини.

Декоративні характеристики: створення однорідної, глянцевої або матової поверхні з можливістю пігментації у широкий спектр кольорів.

Адгезійні властивості: висока здатність прилипати до різних поверхонь, включаючи метал, дерево, бетон та пластик.

Еластичність: здатність покриття розширюватися та стискатися разом із поверхнею без утворення тріщин.

Алкідні смоли є основою багатьох типів лаків, емалей, ґрунтовок і шпаклівок, які застосовуються в промисловості, будівництві та побуті.

Автоматизована установка, призначена для синтезу лакофарбових смол, реалізує контрольований процес утворення плівкоутворювальних речовин, що використовуються у складі лакофарбової продукції. Основна мета обладнання — отримання алкідної смоли в результаті поліконденсації багатоатомних спиртів (переважно гліцерину) з жирними кислотами, що містяться в натуральних рослинних оліях. Під час реакції утворюються складні ефіри й виділяється вода, а зміна в'язкості є важливим параметром контролю якості кінцевого продукту.

Технологічний процес відбувається у вертикальному реакторі, оснащеному механічною мішалкою, що забезпечує рівномірне перемішування реагентів і стабільне підтримання температури в усьому об'ємі. Послідовність

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

продуктом реакції є вода, яку необхідно систематично видаляти для підтримання напрямку реакції в бік утворення полімеру.

Основні компоненти сировини

1. Багатоатомні спирти

Багатоатомні спирти забезпечують основу для формування поліефірного ланцюга. Найчастіше використовується:

Гліцерин ($C_3H_5(OH)_3$): забезпечує високу реактивність завдяки наявності трьох гідроксильних груп, які вступають у реакцію з кислотами.

2. Органічні кислоти та ангідриди

Органічні кислоти формують ефірні зв'язки з багатоатомними спиртами, утворюючи основу смоли.

Фталевий ангідрид ($C_6H_4(CO)_2O$)

Жирні кислоти: зазвичай отримуються з рослинних олій (наприклад, лляна, соєва, соняшникова). Вони додають пластичності й забезпечують гарну адгезію.

3. Олії (тригліцериди)

Використовуються як джерело жирних кислот, які додають алкідним смолам властивості, необхідні для покращення гнучкості та стійкості покриття:

Лляна олія: висихає швидко, формуючи міцну плівку.

Соняшникова олія: доступна за вартістю, додає покриттю м'якість і еластичність.

Соєва: використовується для створення смол із середньою швидкістю висихання.

4. Каталізатори

Каталізатори поліконденсації пришвидшують реакцію і забезпечують ефективність процесу. Найчастіше використовуються сполуки титану або цинку.

5. Розчинники

Для зниження в'язкості та полегшення нанесення кінцевого продукту застосовуються органічні розчинники, наприклад, уайт-спірит чи толуол.

Крім основних компонентів, у складі рецептури використовуються допоміжні речовини, зокрема каталізатори та інгібітори, які виконують важливу

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

роль у регулюванні швидкості поліконденсаційної реакції. Каталізатори пришвидшують перебіг основної реакції, підвищуючи ефективність процесу, тоді як інгібітори запобігають небажаним побічним реакціям і забезпечують контрольований розвиток полімеризації.

У ході синтезу як побічний продукт утворюється вода, яку необхідно систематично видаляти з реакційної зони. Це дозволяє змістити хімічну рівновагу в бік утворення полімеру, що є необхідною умовою для досягнення заданих фізико-хімічних характеристик алкідної смоли.

Особливі вимоги пред'являються до якості сировини. Усі реагенти мають бути високої чистоти, стабільного хімічного складу та з мінімальним вмістом домішок. Навіть незначні відхилення можуть негативно вплинути на параметри готового продукту — молекулярну масу, в'язкість, температуру затвердіння, а також хімічну стійкість алкідної смоли.

Таким чином, характеристика сировини та реагентів є ключовим фактором, що визначає стабільність технологічного процесу, якість кінцевої продукції та її відповідність вимогам сучасної лакофарбової промисловості. Рациональний вибір і контроль за якістю компонентів — запорука отримання високоякісних алкідних смол з прогнозованими експлуатаційними властивостями.

1.3 Аналіз технологічної схеми установки (автоматизованого виробництва лакофарбових смол)

Процес виготовлення алкідних смол здійснюється періодично і охоплює низку важливих етапів, кожен з яких спрямований на досягнення високої якості плівкоутворювального продукту. Основною метою є одержання смоли з необхідними фізико-хімічними показниками, такими як кислотне число, в'язкість і молекулярна маса. Синтез проводиться в спеціальних вертикальних реакторах, які обладнані температурною сорочкою, змішувальними механізмами та автоматизованими системами контролю та регулювання параметрів.

На початковому етапі у реакційний апарат подають необхідні речовини:

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

багатоатомні спирти (наприклад, гліцерин), органічні кислоти (як фталевий ангідрид) та жири або олії рослинного походження (ляна, соєва, соняшникова). Кожен із компонентів відіграє важливу роль у формуванні характеристик готового полімеру. Додатково у виробничому процесі можуть бути задіяні допоміжні механізми, зокрема сушарки, гранулятори, транспортери та сепараційні пристрої.

Гліцерин, завдяки трьом гідроксильним групам, проявляє високу хімічну активність і утворює міцні зв'язки з кислотами, що сприяє утворенню ефірної структури. Масла та жирні кислоти додають смолі пластичності та покращують її зчеплення з поверхнею. Фталевий ангідрид, у свою чергу, підвищує твердість і стійкість матеріалу до високих температур.

Подача компонентів у реактор здійснюється відповідно до чітко визначеної рецептури, яка залежить від типу смоли, її подальшого застосування та необхідних технічних властивостей. Об'єм кожного інгредієнта точно розраховується згідно зі стехіометричними співвідношеннями, що дозволяє знизити утворення небажаних побічних речовин і досягти максимальної ефективності синтезу.

На рисунку 1.1 показана принципова схема установки.

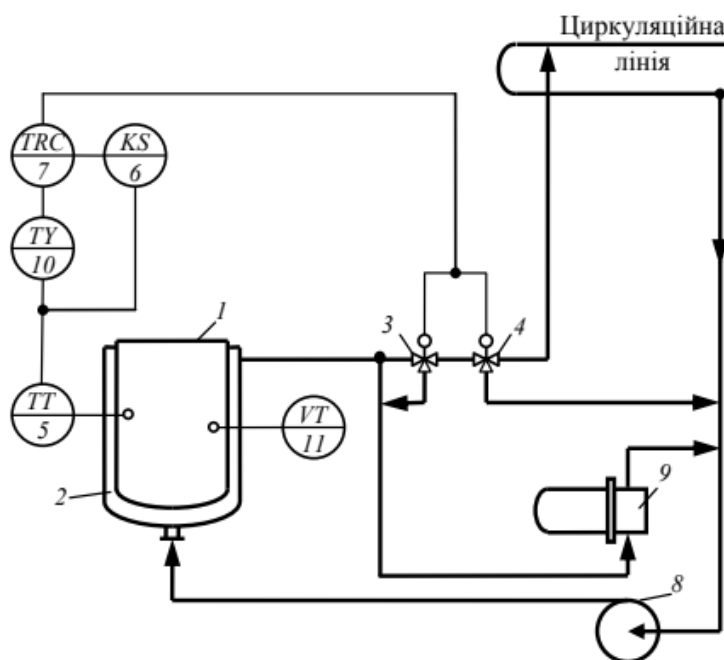


Рисунок 1.1 - Принципова схема виробництва лакофарбових смол

						БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			15

Принципова схема регулювання температурного режиму в реакторі:

1 – реактор; 2 – оболонка реактора; 3, 4 – триходові клапани; 5 – давач температури; 6 – програмний задатчик температури; 7 – регулятор температури; 8 – циркуляційний насос; 9 – холодильник; 10 – коригувальний пристрій; 11 – давач в'язкості.

Після завантаження реакційної суміші її рівномірно нагрівають за допомогою теплоносія, що циркулює у сорочці реактора. Початкова температура зазвичай становить 150-170 градусів С.

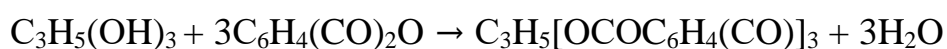
У процесі нагрівання забезпечується постійне перемішування суміші, що дозволяє досягти її однорідності.

На цьому етапі важливо уникати перегрівання, яке може призвести до небажаних побічних реакцій, наприклад, термічного розкладання компонентів. Тому температура ретельно контролюється автоматичною системою регулювання, що використовує дані давача температури (ТТ).

Основна стадія синтезу (поліконденсація)

Після початкового підігріву температура в реакційному середовищі поступово піднімається до діапазону 200–400 °С, що визначається видом смоли, яку планується отримати. У цей період відбувається ключова хімічна трансформація — реакція поліконденсації, в ході якої формується поліефірна структура.

Хімічна реакція:



Поліконденсація супроводжується виділенням води як побічного продукту. Видалення води є критично важливим, оскільки її накопичення може зупинити хімічну реакцію. Для цього в системі передбачено конденсатор, який забезпечує ефективне відведення пари та води.

Контроль процесу здійснюється за допомогою:

Давача температури (ТТ), що підтримує оптимальний температурний режим.

										Арк.
										16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ					

Давача в'язкості (VT), який дозволяє оцінити ступінь полімеризації суміші та досягнення необхідної молекулярної маси.

Завершення реакції та охолодження

Після завершення основного етапу реакції суміш поступово охолоджують до температури 100-120 градусів С. Охолодження забезпечується циркуляцією теплоносія через сорочку реактора, причому частина теплоносія пропускається через холодильник (9).

Охолодження є важливим для зниження в'язкості смоли, що полегшує її подальшу обробку. Температурний режим цього етапу також регулюється автоматично за допомогою системи клапанів (3 і 4) і давачів температури. У разі необхідності на цьому етапі в реактор додають розчинники (наприклад, уайт-спірит), що забезпечують задану консистенцію кінцевого продукту.

Розвантаження продукту

Охолоджену смолу вивантажують із реактора у спеціальні резервуари для подальшого зберігання або транспортування. На цьому етапі виконується контроль якості отриманого продукту за такими параметрами:

В'язкість, яка визначає зручність нанесення смоли.

Кислотне число, що є індикатором завершеності реакції.

Час висихання, який вказує на ефективність смоли як плівкоутворювального матеріалу.

Контроль якості гарантує відповідність смоли стандартам і вимогам замовників.

Особливості регулювання температурного режиму

Контроль температури є одним із найважливіших факторів у процесі синтезу алкідних смол. Управління температурним режимом відбувається автоматично відповідно до спеціально розробленої схеми, наведеної на ілюстрації. Під час нагрівання теплоносій циркулює крізь сорочку реактора, забезпечуючи рівномірне прогрівання всього об'єму. У разі необхідності зниження температури частина теплоносія направляється через охолоджувальну установку.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Завдяки впровадженню автоматизованих систем керування та моніторингу вдається підтримувати стабільні температурні умови з високою точністю, що є вирішальним для досягнення необхідних властивостей синтезованої смоли.

Отже, процес виготовлення алкідних смол складається з кількох послідовних етапів, кожен із яких вимагає чіткого дотримання встановлених параметрів. Це необхідно для досягнення стабільної якості готового продукту.

Синтез алкідних смол супроводжується складними хімічними перетвореннями, які потребують не лише постійного контролю температури, а й рівномірного перемішування та дотримання точних фізико-хімічних умов. Кожен із цих чинників відіграє ключову роль у формуванні характеристик смоли, тому автоматизація всього виробничого процесу є основою для стабільного й ефективного виробництва.

Головною метою автоматизації процесу синтезу алкідних смол є забезпечення стабільності, безпеки та високої якості кінцевого продукту шляхом точного контролю ключових параметрів на всіх етапах виробництва. Одним із пріоритетних завдань є регулювання температури всередині реактора, оскільки реакція поліконденсації супроводжується виділенням тепла. Для уникнення перегріву або недостатнього прогріву системи автоматичного керування повинні підтримувати задані температурно-часові умови протягом усього циклу.

Також надзвичайно важливим є контроль над потоком теплоносія. Автоматизована система відповідає за регулювання циркуляції теплоносія в сорочці реактора, а за потреби – через охолоджувальний контур. Це дозволяє забезпечити належний тепловий баланс у процесі синтезу.

У міру проходження різних етапів виробництва виникає потреба у зміні параметрів керування. Програмовані контролери автоматично адаптують режими роботи згідно із заздалегідь визначеною температурно-часовою програмою, створюючи оптимальні умови для хімічних реакцій.

Окрім температурного контролю, необхідно стежити за характеристиками реакційної маси, зокрема за її в'язкістю — одним із ключових показників завершення поліконденсації. Інформація від відповідних сенсорів надходить до

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

8. Підвищити стабільність та якість продукції завдяки мінімізації відхилень у процесі синтезу.

9. Підвищити безпеку роботи персоналу та обладнання шляхом інтеграції аварійних систем захисту.

10. Забезпечити можливість швидкого переходу на виробництво різних видів алкідних смол завдяки гнучкості системи управління.

Таким чином, автоматизація процесу виробництва алкідних смол є не лише необхідною умовою для підвищення продуктивності, але й важливим кроком до вдосконалення технологій у сучасному лакофарбовому виробництві.

1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання

Технологічне обладнання для виробництва лакових смол, зокрема алкідних, має забезпечувати стабільний перебіг поліконденсаційної реакції, контроль температурного режиму, перемішування реагентів та відведення побічних продуктів. Основним елементом установки є реактор періодичної дії вертикального типу з механічною системою перемішування, який призначений для проведення синтезу в умовах контрольованого температурно-часового режиму.

Реактор являє собою вертикальний циліндричний апарат, виготовлений з термостійкої та хімічно інертної сталі, який обладнаний подвійною сорочкою для циркуляції теплоносія (пари або гарячої води). Система перемішування включає лопатевий або якорний мішалку, яка забезпечує рівномірну гомогенізацію реакційної маси протягом усього процесу. Частота обертання мішалки регулюється для запобігання локальному перегріву та забезпечення рівномірної температури по об'єму.

Нагрівання та охолодження реакційної маси здійснюється шляхом зміни температури теплоносія в сорочці. Для цього передбачено циркуляційний насос, а також теплообмінники (холодильники), які вводяться в контур при необхідності охолодження продукту. Керування температурою реалізується за допомогою автоматизованої системи регулювання температури, яка включає

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

датчики температури, регулятори та триходові клапани. Автоматичний регулятор температури отримує сигнал від температурного датчика та відповідно впливає на положення клапанів, які спрямовують теплоносії або напряму в реактор, або через холодильник.

Для реалізації температурно-часової програми в системі передбачено програмний задатчик, який дозволяє реалізовувати змінні режими роботи відповідно до стадій технологічного процесу. Для підвищення точності регулювання застосовується коригувальний пристрій, що змінює параметри налаштування регулятора в залежності від поточного етапу синтезу. Це дає змогу оптимізувати перехідні процеси та забезпечити стабільну якість продукту.

Контроль за завершенням реакції здійснюється за допомогою вимірювача в'язкості, що інтегрований у систему керування. Зміна в'язкості реакційної маси служить індикатором ступеня полімеризації та дозволяє своєчасно завершити синтез.

Таким чином, технологічне обладнання установки для виробництва лакових смол є комплексом сучасних технічних засобів, що забезпечують ефективне перемішування, точне регулювання температури, автоматичне керування процесом та контроль параметрів, критичних для якості кінцевого продукту. Високий рівень автоматизації дозволяє досягати стабільних характеристик смоли незалежно від змін у властивостях сировини.

1.5 Вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання

Для забезпечення ефективного та стабільного функціонування технологічного процесу синтезу лакових смол, зокрема алкідних, необхідно здійснювати постійний контроль та автоматичне регулювання ключових параметрів. Головна мета автоматизації полягає в підтриманні оптимальних умов для перебігу поліконденсаційної реакції, що безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту, а також у забезпеченні безпечної та енергоефективної експлуатації обладнання.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Основним параметром, який підлягає контролю та регулюванню, є температура реакційної маси в реакторі. Оскільки швидкість поліконденсації та ступінь полімеризації чутливо залежать від температури, навіть незначні відхилення можуть призвести до зниження якості смоли або до зриву процесу. Регулювання температури здійснюється за допомогою системи автоматичного регулювання температури (САР), яка включає температурні датчики, ПІ-регулятор, програмний задатчик і триходові клапани. Керування температурою здійснюється шляхом зміни температури теплоносія, що циркулює у сорочці реактора. Для забезпечення точності регулювання використовується пропорційно-інтегральний регулятор, параметри якого підбираються з урахуванням динаміки процесу та характеристики теплообміну.

Другим важливим параметром є в'язкість реакційної маси, яка є критерієм ступеня завершеності реакції поліконденсації. Зі зростанням молекулярної маси смоли зростає й її в'язкість, тому безперервний контроль цього параметра дозволяє оператору або автоматичній системі точно визначити момент завершення процесу синтезу. Для цього застосовується в'язкісний датчик, який інтегровано в систему контролю якості та сигналізує про досягнення заданих технологічних показників.

Також важливими параметрами є витрата теплоносія, температура на вході в сорочку реактора та тиск у системі, які слугують допоміжними для забезпечення стабільності температурного режиму. Їх контроль здійснюється через відповідні сенсори та регулятори, а в разі відхилень система переходить у захисний режим або вносить коригування до керуючих дій.

Обґрунтування вибору саме цих параметрів базується на аналізі фізико-хімічної природи процесу. Температура визначає швидкість реакції та кінцеву структуру смоли, а в'язкість — рівень її полімеризації. Без контролю цих показників неможливо забезпечити стабільну якість продукту. Застосування автоматичного регулювання дозволяє знизити вплив людського фактора, підвищити точність керування та зменшити ймовірність аварійних ситуацій.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таким чином, вибір температури та в'язкості як основних контрольованих параметрів є технічно обґрунтованим і забезпечує досягнення високої якості продукції, стабільність процесу та економічну ефективність виробництва алкідних смол.

Висновки до розділу

Виробництво алкідних смол — це складний і технологічно значущий процес у лакофарбовій галузі. Впровадження автоматизації в цей процес дозволяє суттєво підвищити його продуктивність, стабільність і безпеку, забезпечуючи точний контроль таких важливих параметрів, як температура та в'язкість. Використання сучасних автоматизованих систем, включаючи програмовані контролери і датчики, гарантує високу точність керування температурними режимами та зводить до мінімуму вплив людського фактору, що сприяє стабільній якості готової продукції та економії енергетичних ресурсів.

Автоматизація виробництва алкідних смол є ключовим кроком для підвищення конкурентоспроможності на ринку лакофарбових матеріалів, покращення економічних показників підприємств і забезпечення більш надійного рівня безпеки технологічних процесів. Таким чином, впровадження автоматизованих рішень стає необхідною умовою розвитку індустрії, що відповідає сучасним технологічним вимогам і стандартам ринку.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Опис реактора як технологічного об'єкта керування

Реактор для виробництва лакових смол є основним технологічним об'єктом у процесі синтезу. Він виконує функцію змішування, нагрівання, охолодження та проведення хімічних реакцій між компонентами сировини (багатоатомними спиртами, органічними кислотами та жирними кислотами).

Основними етапами роботи реактора є:

Підготовка: У реактор завантажують необхідні компоненти. Завдяки системі перемішування забезпечується рівномірний розподіл компонентів.

Нагрівання: Реакційна маса нагрівається за допомогою теплоносія, що циркулює у подвійній сорочці реактора. Температура підтримується на рівні 150–250 °С для забезпечення оптимальної швидкості реакції поліконденсації.

Реакція: В процесі синтезу відбувається утворення складних ефірів і виділення води як побічного продукту. Система автоматизації контролює температуру, в'язкість та інші параметри, забезпечуючи стабільність процесу.

Охолодження: Після завершення реакції система охолодження знижує температуру до безпечного рівня, що забезпечує стабільність кінцевого продукту.

Розвантаження: Готовий продукт вивантажується в резервуари для зберігання або подальшої обробки.

Система керування забезпечує автоматичний контроль ключових параметрів, таких як температура, в'язкість, тиск, і дозволяє мінімізувати людський вплив. Це забезпечує високу стабільність якості продукції та ефективність виробництва.

2.2 Математична модель ТОК

Модель технологічного об'єкта керування (ТОК) — це математичне або структурне відображення реального технологічного процесу, яке описує його

										Арк.
										24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

динамічну поведінку (тобто як об'єкт реагує на вхідні впливи — наприклад, зміну температури, тиску, витрати тощо).

Інакше кажучи, модель ТОК — це рівняння або схема, яка дозволяє передбачити, як об'єкт буде себе поводити в залежності від керуючих дій або зовнішніх збурень.

У данному дипломному проєкті модель ТОК (технологічного об'єкта керування) зображена на рисунку нижче. Вона представляє схему перетворення сировини в готову продукцію. На вході в систему надходить сировина з певними параметрами, які зазнають змін у процесі обробки.

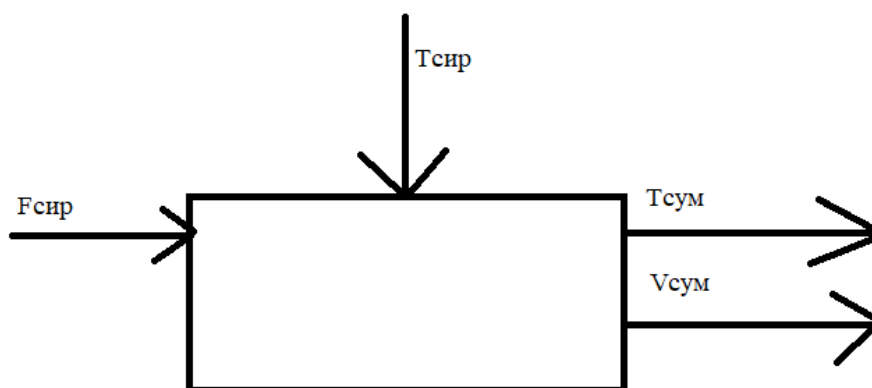


Рисунок 2.1 Параметрична схема реактора

Позначення на першому рисунку:

- $F_{\text{сир}}$ – масова витрата сировини.
- $T_{\text{сир}}$ – температура сировини.
- $T_{\text{сум}}$ – температура готової суміші.
- $V_{\text{сум}}$ – об'єм або витрата готової суміші.

2.3 Рівняння балансів

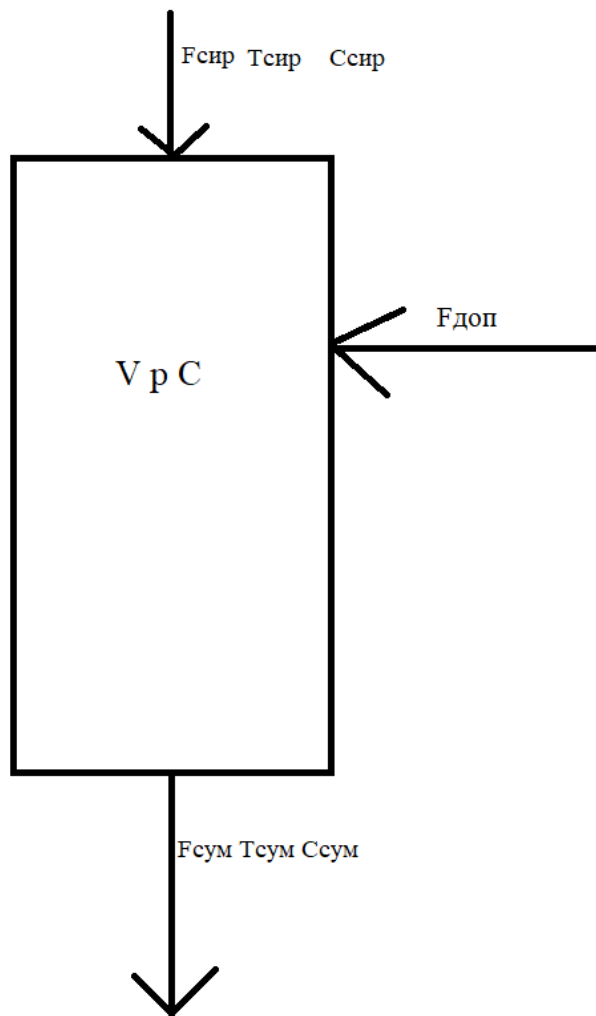


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема реактора

Розрахункова схема реактора для побудови математичної моделі теплообміну та масообміну в процесі виробництва алкідних смол.

Вхідні потоки:

1. Витрата сировини $G_{сир}$ — це основний масовий потік, який подається до реактора. Він включає гліцерин, жирні кислоти та фталевий ангідрид, необхідні для проведення реакції поліконденсації.
2. Температура сировини $T_{сир}$ — визначає початковий тепловий стан речовини, що надходить у реактор. Вона виступає як зовнішнє збурення, що впливає на енергетичний баланс системи.

2.4 Лінеаризація рівнянь

Для спрощення аналізу та побудови регуляторів здійснюємо лінеаризацію (тобто приведення до лінійної форми) нелінійного диференціального рівняння теплового балансу реактора біля стаціонарної точки.

1. Нелінійне рівняння енергетичного балансу:

$$pVC \frac{dT(t)}{dt} = FpC(T_{\text{вх}} - T(t)) + UA(T_{\text{сop}}(t) - T(t)), \quad (2.4)$$

- $T(t)$ — температура суміші у реакторі [К];
- $T_{\text{вх}}$ — температура сировини [К];
- $T_{\text{сop}}(t)$ — температура сорочки [К];
- F — витрата сировини [$\text{м}^3/\text{с}$];
- p, C, V, U, A — постійні технологічні параметри.

2. Введення відхилень від стаціонарної точки:

Позначимо:

$$T(t) = T_0 + \Delta T(t), \quad T_{\text{вх}} = T_{\text{вх}0} + \Delta T_{\text{вх}}(t), \quad T_{\text{сop}}(t) = T_{\text{сop}0} + \Delta T_{\text{сop}}(t)$$

де $T_0, T_{\text{вх}0}, T_{\text{сop}0}$ — стаціонарні значення температур.

3. Підставимо в рівняння та застосуємо лінеаризацію:

Після підстановки отримаємо:

$$pVC \frac{d(\Delta T)}{dt} = FpC(\Delta T_{\text{вх}} - \Delta T) + UA(\Delta T_{\text{сop}} - \Delta T), \quad (2.5)$$

4. Поділимо обидві частини на pVC :

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} = \frac{F}{V}(\Delta T_{\text{вх}} - \Delta T) + \frac{UA}{pVC}(\Delta T_{\text{сop}} - \Delta T), \quad (2.6)$$

5. Остаточне лінеаризоване рівняння:

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} = \left(\frac{F}{V} + \frac{UA}{pVC} \right) \Delta T = \frac{F}{V} \Delta T_{\text{вх}} + \frac{UA}{pVC} \Delta T_{\text{сop}}, \quad (2.7)$$

Стандартна форма:

Позначимо:

$$a = \frac{F}{V} + \frac{UA}{pVC}$$

									Арк.
									29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$b_1 = \frac{F}{V}$$

$$b_2 = \frac{UA}{\rho VC}$$

Отже:

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} + a\Delta T = b_1\Delta T_{\text{вх}} + b_2\Delta T_{\text{сop}}, \quad (2.9)$$

Це — лінійна передаточна модель першого порядку із двома входами.

Таке рівняння можна подати в формі Лапласа (передаточної функції) для моделювання у MATLAB, наприклад:

$$G(s) = \frac{b_1}{s + a} \text{ (відносно } \Delta T_{\text{вх}}) \quad \text{або} \quad \frac{b_2}{s + a} \text{ (від } \Delta T_{\text{сop}})$$

2.5 Рівняння в формі Коші.

Наведемо лінійаризоване рівняння теплового процесу в реакторі у формі Коші, тобто як звичайне диференціальне рівняння (ЗДР) першого порядку з початковою умовою.

Загальне рівняння:

З попередньої лінеаризації маємо:

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} + a\Delta T = b_1\Delta T_{\text{вх}} + b_2\Delta T_{\text{сop}}, \quad (2.10)$$

Перепишемо у формі Коші:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta T(t)}{dt} = -a\Delta T(t) + b_1\Delta T_{\text{вх}}(t) + b_2\Delta T_{\text{сop}}(t) \\ \Delta T(0) = \Delta T_0 \end{cases}, \quad (2.11)$$

- $\Delta T(t)$, — відхилення температури реакторної маси від стаціонарного значення;
- $\Delta T_{\text{вх}}(t), \Delta T_{\text{сop}}(t)$ — збурення (вхідні впливи);
- $a > 0, b_1 > 0, b_2 > 0$ — постійні коефіцієнти, що визначають динаміку об'єкта;

									Арк.
									30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- ΔT_0 — початкове значення відхилення температури.

2.6 Перевірка керованості системи

Щоб виконати перевірку керованості системи, необхідно спочатку представити лінійаризовану модель у вигляді просторового стану

1. Лінійна система у просторі станів

З попереднього пункту ми маємо лінійаризоване рівняння:

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} = -a\Delta T + b_1\Delta T_{\text{вх}} + b_2\Delta T_{\text{сор}}, \quad (2.12)$$

Позначимо:

- $x = \Delta T$ — стан системи (відхилення температури),

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta T_{\text{вх}} \\ \Delta T_{\text{сор}} \end{bmatrix}$$

Тоді матрична форма системи:

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

де:

$$A = [-a], B = [b_1; b_2]$$

2. Перевірка керованості

Керованість перевіряється через матрицю керованості C :

$$C = [B \ AB \ A^2B \ \dots \ A^{n-1}B]$$

Оскільки в нас один стан x (тобто $n=1$), то матриця керованості буде:

$$C = B + [b_1 \ b_2]$$

Система керована, якщо хоча б один з вхідних каналів (температура сировини або сорочки) впливає на температуру реакційної маси.

А в нашій фізичній системі обидва входи реально впливають на температуру, тому:

Отже система є повністю керованою.

									Арк.
									31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ				

2.7 Перетворення за Лапласом змінної часу

Виконаємо перетворення Лапласа для лінеаризованого рівняння температури реакційної маси, що ми раніше подали у формі Коші.

Вихідне рівняння (у часі):

$$\frac{(\Delta T(t))}{dt} = + a\Delta T(t) = b_1\Delta T_{\text{вх}}(t) + b_2\Delta T_{\text{cop}}(t), \quad (2.13)$$

Перетворення Лапласа:

Позначимо:

$$L\{\Delta T(t)\} = \Delta T(s)$$

$$L\{\Delta T_{\text{вх}}(t)\} = \Delta T_{\text{вх}}(s)$$

$$L\{\Delta T_{\text{cop}}(t)\} = \Delta T_{\text{cop}}(s)$$

З урахуванням нульових початкових умов ($\Delta T(0) = 0$) маємо:

$$s\Delta T(s) + a\Delta T(s) = b_1\Delta T_{\text{вх}}(s) + b_2\Delta T_{\text{cop}}(s), \quad (2.14)$$

Передавальна функція системи:

$$(s + a)\Delta T(s) = b_1\Delta T_{\text{вх}}(s) + b_2\Delta T_{\text{cop}}(s), \quad (2.15)$$

Розв'язуючи відносно $\Delta T(s)$:

$$\Delta T(s) = \frac{b_1}{s+a}\Delta T_{\text{вх}}(s) + \frac{b_2}{s+a}\Delta T_{\text{cop}}(s), \quad (2.16)$$

Система має передавальні функції:

$$\text{Від } \Delta T_{\text{вх}}(s): G_1(s) = \frac{b_1}{s+a}$$

$$\text{Від } \Delta T_{\text{cop}}(s): G_2(s) = \frac{b_2}{s+a}$$

Це двоканальна лінійна інерційна система першого порядку з одним виходом (температура).

На основі теплофізичних властивостей сировини та продукту реактора були сформовані базові математичні моделі, включаючи рівняння теплового балансу та рівняння балансу компонентів реакції поліконденсації. Особливий акцент було зроблено на лінеаризації рівнянь навколо стаціонарної точки, що дозволило звести їх до лінійних диференціальних рівнянь першого порядку. Це суттєво спростило подальший аналіз і розробку регуляторів.

Моделювання показало, що система є повністю контрольованою, оскільки температура реакційної маси може регулюватися двома основними каналами: температурою сировини та теплоносія. Перевірка керованості, виконана через побудову матриці керованості, підтвердила можливість ефективного управління.

Отримані передавальні функції та графіки (зокрема, перехідні й імпульсні характеристики) чітко демонструють динамічну реакцію системи на зовнішні збурення й керуючі дії. Перетворення Лапласа дозволило представити моделі в формі, зручній для чисельного моделювання, що забезпечує їх практичне застосування у програмному середовищі MATLAB.

Таким чином, розроблене математичне моделювання є ефективним інструментом для аналізу динамічної поведінки системи, створення оптимальних методів управління та підвищення ефективності технологічних процесів.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

РОЗДІЛ 3 СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Синтез одноконтурної системи автоматичного керування

Одноконтурна система автоматичного керування (САК) призначена для регулювання основного технологічного параметра, наприклад, температури в реакторі. Її структура включає такі основні елементи: об'єкт керування (реактор), давачі, регулятори, виконавчі механізми та канал зв'язку.

Структура САК у середовищі Simulink

Модель одноконтурної системи автоматичного регулювання була створена в середовищі Simulink (MATLAB) і має таку архітектуру:

Вхідний блок Step – задає одиничний стрибковий вплив на регульований параметр для аналізу динаміки системи.

- Блок Sum – виконує підрахунок похибки як різниці між заданим сигналом і вихідним значенням об'єкта керування, що представляє температуру реакційної суміші.
- Блок PI Controller – реалізує пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор для формування керуючого сигналу.
- Блок Transfer Fcn – відтворює передатну функцію технологічного об'єкта.
- Блок Scope – забезпечує візуалізацію відгуку системи (графік перехідного процесу) на вхідний сигнал.
- З'єднання – формують замкнену структуру з негативним зворотним зв'язком для стабілізації параметрів.

Структурна схема побудови одноконтурної САК зображена на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Структурна схема побудови одноконтурної САК в середовищі Simulink

На зображенні представлено структурну схему одноконтурної системи автоматичного керування (САК) у середовищі Simulink:

Вхідний блок (Step) – генерує одиничний стрибкоподібний сигнал, який задає бажане значення регульованого параметра.

Блок суматора (Sum) – виконує обчислення похибки, визначаючи різницю між заданим значенням (вихід блоку Step) і поточним значенням об'єкта (зворотний зв'язок).

Блок регулятора (PI(s)) – реалізує пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор, який генерує керуючий сигнал на основі похибки.

Блок передатної функції (Transfer Function) – представляє динамічну модель об'єкта керування, у даному випадку описану передатною функцією

$$G(s) = \frac{0.8}{2s + 1}$$

Блок Scope – забезпечує відображення перехідного процесу (відгуку системи) у вигляді графіка.

Зв'язки – організують замкнену систему зі зворотним зв'язком, що дозволяє стабілізувати систему та досягти бажаного значення параметра.

Ця схема є стандартною реалізацією для аналізу динаміки систем автоматичного керування в середовищі Simulink.

Параметри блоків моделі САК в Simulink

Блок Step – джерело сигналу з параметрами:

Step time = 1

Initial value = 0

Final value = 1

Блок Sum – суматор з параметрами: +, – (похибка $e(t) = r(t) - y(t)$)

Блок PI Controller – Регулятор з параметрами:

$K_p = 0.9$

$T_i = 0.18$

Continuous-time

Блок Transfer Fcn - Передатна функція об'єкта з параметрами

3.2 Синтез ефективних систем автоматичного керування

Процес синтезу ефективних систем автоматичного керування (САК) передбачає розробку таких структур та алгоритмів, які забезпечують задану якість функціонування об'єкта при мінімальних витратах ресурсів, високій надійності та здатності адаптуватися до змін у зовнішньому середовищі. У сфері автоматизації застосовуються різні підходи до побудови САК, серед яких виокремлюють інваріантні, каскадні, автономні, оптимальні, адаптивні та інші типи систем.

Інваріантні системи спрямовані на збереження стабільної якості керування за умов зміни зовнішніх впливів або параметрів об'єкта. Їх побудова базується на створенні законів керування, що роблять систему малочутливою до визначеного класу збурень.

Каскадні системи будуються як послідовність з'єднаних регуляторів, де кожен регулятор контролює окрему підсистему загального процесу. Такий принцип дозволяє розділити керування, спростити процес налаштування та підвищити точність у складних багаторівневих об'єктах.

Автономні системи працюють самостійно, без зовнішнього впливу, приймаючи рішення на основі закладених алгоритмів та сенсорних даних. Вони широко використовуються у сферах мобільної робототехніки, космічних технологій та інтелектуальних пристроїв.

Оптимальні системи проєктуються з урахуванням мінімізації певного показника якості, такого як час перехідного процесу, енергоспоживання чи відхилення від бажаного значення. Для їх побудови використовують методи динамічного програмування, варіаційного числення та інші аналітичні підходи.

Адаптивні системи мають здатність змінювати свою структуру або параметри під час роботи, реагуючи на зміни характеристик об'єкта чи умов навколишнього середовища. Це робить їх особливо корисними для керування об'єктами з невизначеними або нелінійними властивостями.

У сучасній практиці часто реалізуються гібридні САК, які комбінують риси кількох зазначених підходів. Це дозволяє досягати високого рівня

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

ефективності, гнучкості та універсальності при розв'язанні різноманітних прикладних завдань.

3.3 Аналіз роботи розробленої системи автоматичного керування

З метою оцінки ефективності розробленої системи автоматичного керування (САК) було виконано імітаційне моделювання за допомогою середовища MATLAB Simulink. У моделі реалізовано одноконтурну схему з PI-регулятором, параметри якого становлять: $K_p=0,9$, $T_i=0,18$. Керований об'єкт описано передатною функцією відповідної форми.

Як вхідний вплив було застосовано одиничний стрибок (Step) із амплітудою 1, який подавався в момент часу $t=1$ секунда. Результати моделювання подано у вигляді графіка зміни вихідної температури суміші в інтервалі часу $t=0\dots 100$ секунд, але фактично достатньо було б і 50.

На рисунку 3.3 зображено графік перехідної характеристики замкненої системи.

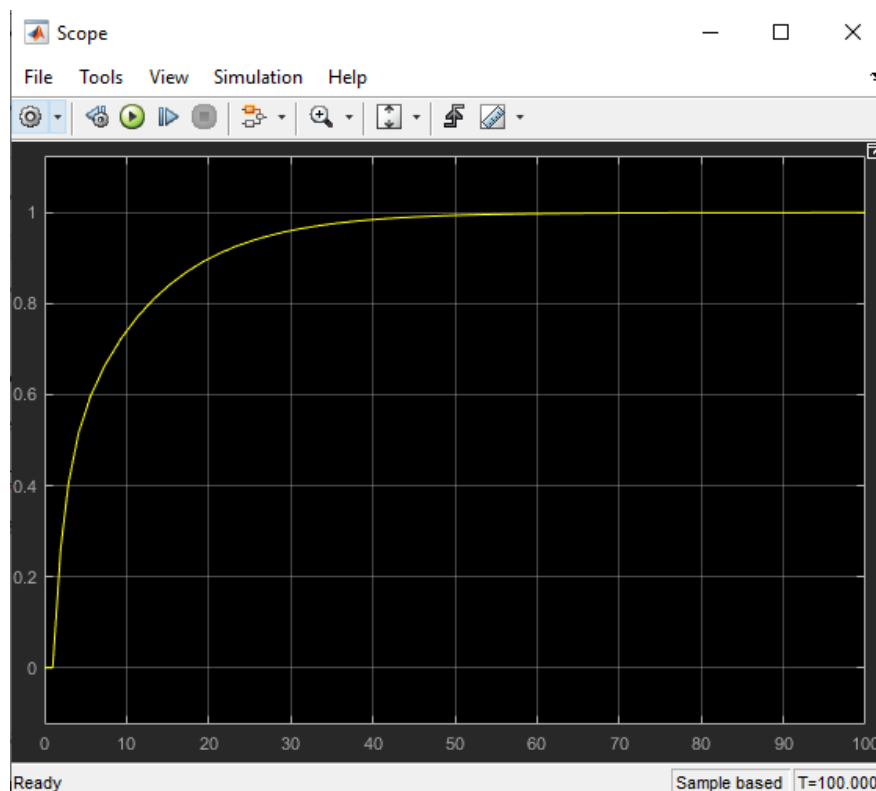


Рисунок 3.3 – Перехідна характеристика замкненої системи

Опис графіка

Це — графік перехідної характеристики замкненої системи з ПІ-регулятором, отриманої у середовищі Simulink. Жовта лінія відображає температурну реакцію об'єкта керування (реактора) на одиничний вхід.

Тип збурення /Одиничний стрибок

Початкове значення / ~0

Усталене значення / ~1.0 (досягнуто без коливань)

Перерегулювання / Відсутнє — немає перевищення уставки

Час наростання / Приблизно 0–20 с

Час досягнення / 95% \approx 30–35 с

Колівання /Відсутні

Тип динаміки /Повільно-аперіодична

Стійкість Система стійка, збігається до усталеного

Отже Налаштування ПІ-регулятора є вдалими. Система має повільну, але стійку та плавну реакцію, що є типовим для теплових інерційних об'єктів. Температура змінюється м'яко, без осциляцій, перерегулювань чи запізнень

3.4 Синтез каскадної системи автоматичного керування

Це каскадна (багаторівнева) система регулювання в Simulink, яка включає три ПІ-регулятори. Така структура застосовується, коли потрібно поетапно стабілізувати кожен рівень процесу:

Наприклад:

зовнішнє регулювання — температура суміші;

середній рівень — температура сорочки;

внутрішній — витрата теплоносія або нагрівальний елемент.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Структура каскадної САК

У системі є два послідовно з'єднані контури:

В данному випадку ми виконуємо синтез для зовнішнього регулятора (1-й PI):

Відповідає за загальний температурний контроль.

Та для внутрішнього регулятора (2-й PI):

Найшвидший рівень (вплив на витрату теплоносія).

Модель каскадної системи автоматизованого керування реалізовано у середовищі Simulink. Принципова структура наведена на рисунку 3.6.

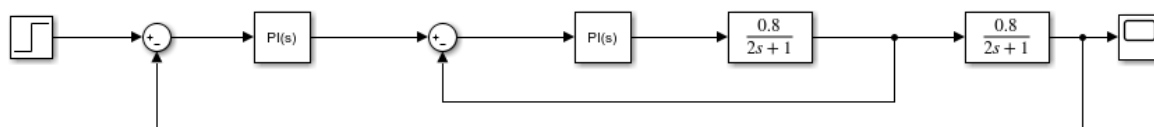


Рисунок 3.4 – Структурна схема каскадної системи автоматизованого керування у Simulink

Передавальна функція має вигляд

$$G(s) = \frac{0.8}{2s + 1}$$

Налаштування регуляторів

Регулятора зовнішній (1-й PI):

Відповідає за загальний температурний контроль.

Параметри: P=0.377430602412851, I=0.112711020737785

Регулятора внутрішній (2-й PI):

Відповідає за вплив на витрату теплоносія.

Параметри: P=8.02598949899678, I=2.79604803070095

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

правильність вибраного підходу до побудови САК, ефективність застосованих методів та потенціал для подальшого удосконалення керуючих алгоритмів.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК

4.1 Опис функціональної схеми автоматизації

Для створення взаємопов'язаної системи датчів та виконавчих механізмів, які контролюють процеси виробництва, необхідно мати розроблені принципову та монтажну схеми кожного пристрою і всієї системи. Зазвичай це пристрої з різними фізичними характеристиками, проектування та підбір яких здійснюють фахівці відповідних напрямків. Вимоги до системи визначає замовник, який часто не має достатньої кваліфікації в усіх аспектах. Тому інженери повинні подолати перешкоди і, ще до реалізації системи, розробити вимоги, які повністю відповідатимуть потребам конкретної промисловості та технічним можливостям системи.

Останнім часом розроблені методи формування схем, де в зручному вигляді подано окремі елементи автоматизованого виробничого процесу. Тому, схема автоматизації — це подання виробничого процесу у вигляді стандартних діаграм, від операції введення матеріалу до виходу готового продукту. Оскільки схема автоматизації відображає процеси, при її створенні можна абстрагуватися від конкретного змісту операцій і зосередитися на часових співвідношеннях між ними.

Розробка функціональної схеми починається з визначення необхідних операцій, що базуються на технологічному процесі, а також врахування виробничих можливостей і обмежень технології. Проектування вимог для вибору чи розробки блоків та підсистем автоматизованого виробництва засноване на кінцевих значеннях показників процесу.

На першому етапі розробки проекту автоматизації необхідно визначити, які ділянки об'єкта будуть контролюватися, де будуть розташовані пункти керування та автоматизовані робочі місця, а також встановити взаємозв'язок між ними. Тобто, слід обрати структуру управління, що визначає розподіл частин системи та шляхи передавання впливів між ними.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Метою цієї роботи є розробка системи автоматизації виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням, з урахуванням технологічних параметрів. Вхідні дані та технологічні умови вибираються для ефективного функціонування апаратів та забезпечення автоматичного управління всім процесом, не забуваючи про запобігання аваріям. Тому в схемі автоматизації передбачена система аварійного захисту та блокування.

До складу схеми входять системи, що забезпечують контроль, регулювання, сигналізацію та захист параметрів процесу, а також виконавче управління на відстані. Система автоматичного регулювання сприяє стабілізації якості процесу екстракції ароматичних вуглеводнів при зменшенні витрат реагентів на певній продуктивності.

Контури регулювання

Регулювання температури у реакторі

З давача температури Sensit PTS 45-100 PT1000 (поз.1-а) уніфікований сигнал у форматі 4-20мА прямує на Мікрол МІК-52, у якому згідно програми відбувається дія керування. Згідної заданої програми аналоговий сигнал подається на триходовий клапан Siemens VXI46 з електроприводом SQX62 (поз.1-г). Даний регулюючий орган відкриває/закриває подачу сировини, таким чином регулюється температура.

Регулювання тиску у реакторі

Давач тиску WİKA A-10 (поз.2-а) подає сигнал 4-20мА на Мікрол МІК-52, у якому відбувається дія керування. Згідної заданої програми аналоговий сигнал подається на триходовий клапан Siemens VXI46 з електроприводом SQX62 (поз.1-г,1-д). Даний регулюючий орган відкриває/закриває клапан подачі сировини, таким чином регулюється тиск.

Регулювання в'язкості продукту у реакторі

Давач в'язкості Brookfield TT100 (поз.3-а) подає сигнал 4-20мА на Мікрол МІК-52, у якому згідно програми відбувається дія керування. Згідної заданої програми аналоговий сигнал подається на триходовий клапан Siemens

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

VXI46 з електроприводом SQX62 (поз.1-г,1-д). Даний регулюючий орган відкриває/закриває клапан подачі сировини, таким чином регулюється в'язкість.

Контури індикації

Контур індикації температури у реакторі

З датча температури Sensit PTS 45-100 PT1000 (поз.1-а) подається уніфікований сигнал у форматі 4-20мА прямує на Мікрол МІК-52 на якому і знаходиться індикатор.

Контур індикації тиску у реакторі

З давача тиску WІKА А-10 (поз.4-а) подається уніфікований сигнал у форматі 4-20мА прямує на Мікрол МІК-52 на якому і знаходиться індикатор.

Контур індикації в'язкості у реакторі

З давача в'язкості Brookfield ТТ100 (поз.3-а) уніфікований сигнал у форматі 4-20мА прямує на Мікрол МІК-52 на якому і знаходиться індикатор.

Контури сигналізації

Контур сигналізації тиску у реакторі

Перетворювач тиску WІKА А-10 (поз.4-а) подає сигнал 4-20мА на мікропроцесорний регулятор Мікрол МІК-52, і спрацьовує у випадку критичного відхилення від норми технологічного процесу.

Контур сигналізації температури у реакторі

З давача Sensit PTS 45-100 PT1000 (поз.1-а) уніфікований сигнал у форматі 4-20мА поступає на мікропроцесорний регулятор Мікрол МІК-52, і спрацьовує у випадку критичного відхилення від норми технологічного процесу.

Контур сигналізації рівня в'язкості сировини

З давач в'язкості Brookfield ТТ100 (поз.3-а) уніфікований сигнал у форматі 4-20мА поступає на мікропроцесорний регулятор Мікрол МІК-52, і спрацьовує у випадку критичного відхилення від норми технологічного процесу.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

4.2 Вибір технічних засобів автоматизації

Під час вибору технічних засобів автоматизації перевага надається автоматичним пристроям серійного виробництва.

Таким чином, якщо необхідно контролювати велику кількість однакових параметрів, використовуються однотипні прилади для виконання цих завдань. При підборі технічних засобів враховуються такі фактори, що стосуються метрологічних характеристик та режиму їхньої роботи:

- діапазон вимірювань;
- швидкодія давачів;
- вплив фізичних параметрів середовища та умов навколишнього середовища на роботу приладу;
- здатність давача працювати у заданих умовах технологічного процесу;
- відстань між елементами автоматизованої системи та операторною, на яку необхідно передавати дані.

Для автоматизації установки процесу необхідно забезпечити такі компоненти:

- сенсори для вимірювання температури, тиску, витрати та концентрації;
- проміжні перетворювачі сигналів;
- вторинні прилади для обробки даних;
- пневматичні виконавчі механізми.

Давач температури Sensit PTS 45-100, Pt 1000 — це високоточний пристрій, розроблений для вимірювання температури в промисловості, системах HVAC (опалення, вентиляція та кондиціонування повітря) та інших технічних застосуваннях. Він базується на платиновому терморезисторі (Pt 1000), що забезпечує високу точність, стабільність та надійність у широкому діапазоні температур.

Цей давач має температурний діапазон від -45°C до $+100^{\circ}\text{C}$ і відповідає стандартам IEC 60751, забезпечуючи клас точності B, A або 1/3 DIN (залежно від

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

моделі). Його чутливий елемент має номінальний опір 1000 Ом при 0°C, що робить його сумісним із більшістю стандартних контролерів і вимірювальних приладів.

Довжина корпусу складає 45 мм, що дозволяє легко інтегрувати пристрій у різні системи. Матеріали корпусу забезпечують захист від механічних впливів і агресивних середовищ, а при необхідності датчик може бути додатково оснащений захисними оболонками для роботи у складних умовах, таких як забруднення чи підвищена вологість.

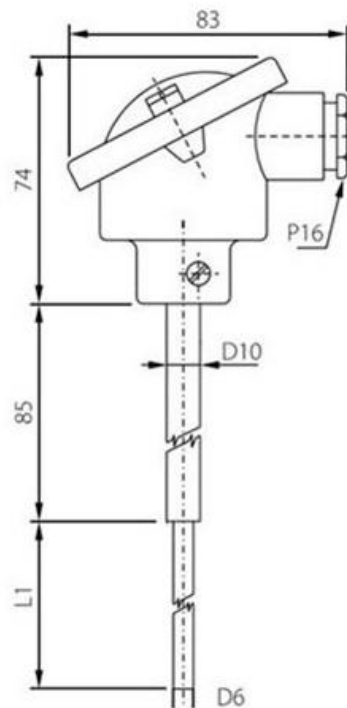
Серед переваг Sensit PTS 45-100, Pt 1000 можна виділити високу стабільність параметрів із часом, універсальність використання у різних галузях, швидкий час реакції завдяки компактному дизайну та сумісність із більшістю систем керування.

Датчик широко використовується в системах управління опаленням і вентиляцією, холодильному обладнанні, промислових технологічних процесах та лабораторних дослідженнях.

Sensit PTS 45-100, Pt 1000 — це надійне рішення для точного вимірювання температури, яке можна адаптувати до різних умов експлуатації. Для більш детальної інформації або допомоги з вибором моделі звертайтеся до виробника чи офіційних дистриб'юторів.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

PTS 41, PTS 43,
PTS 45, PTS 51



Accessories
(PTS 41, PTS 43,
PTS 45, PTS 51)

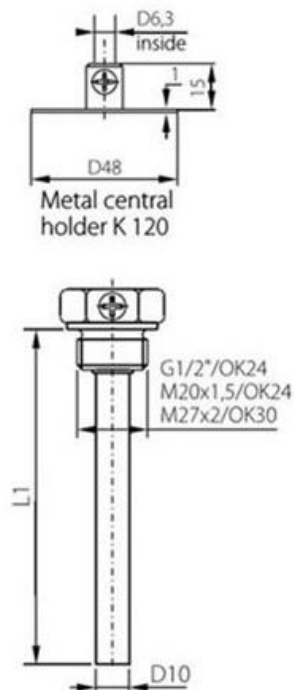


Рисунок 4.1 Конструктивне виконання давача

Таблиця 4.1 - Характеристики давача температури

Найменування	Значення
Тип чутливого елемента	Pt 1000
Виконання / Тип	з комутаційною головкою
Діапазон вимірювання температури	-50 °C до +400 °C
Точність чутливого елемента	$t = \pm(0.3+0.005)$
Матеріал стержня з чутливим елементом	Нержавіюча сталь DIN 1.4301
Довжина стержня з чутливим елементом	100 мм
Матеріал головки підключення	Алюмінієвий сплав, LIMATHERM B
Тип різьби	M 20x1.5
Клас захисту	IP 54, згідно EN 60529
Робоча температура	-25 до 70 °C
Робочий атмосферний тиск	70 до 107 кПа

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ

Арк.

51

WIKА А-10

Перетворювач тиску WIKА А-10 - 12719341. Електронний давач тиску 12719341 тип А10 від Wika працює в діапазоні тиску від 0-400 бар. В якості вихідного сигналу доступний аналоговий вихід 4-20 мА. Давач тиску 12719341 має G 1/4 зовнішнє технологічне з'єднання. Електричне підключення здійснюється за допомогою кутового роз'єму форми А зі ступенем захисту IP65. Завдяки своїй компактній конструкції 12719341 електронний перетворювач тиску ідеально підходить для використання в машинобудуванні, на насосах і компресорах, а також в пневматичних і гідравлічних системах.



Рисунок 4.2 — Давач тиску WIKА А-10

Загальні дані

Тип приладу: Електронний давач тиску

Тип тиску: Відносний тиск

Діапазон вимірювання тиску мін.: 0 бар

Діапазон вимірювання тиску макс.: 400 бар

Точність: $< \pm 0.5 \%$

Давач в'язкості Brookfield TT100

Brookfield TT100 — це високоточний давач в'язкості, розроблений для промислових і лабораторних застосувань. Завдяки надійній конструкції та передовій технології, він дозволяє безперервно вимірювати в'язкість рідин у реальному часі, забезпечуючи точність і стабільність отриманих даних.

									Арк.
									52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ				

Працює на основі ротаційного методу, який визначає опір рідини до обертання. Він підтримує широкий діапазон вимірювань, дозволяючи працювати як із низьков'язкими, так і з високов'язкими матеріалами. Brookfield TT100 також розрахований на роботу в різних температурних умовах, завдяки чому підходить для використання у складних промислових процесах. Його корпус і контактні частини виготовлені з нержавіючої сталі, що забезпечує довговічність та стійкість до агресивних хімічних середовищ.



Рисунок 4.3 — Brookfield TT100

Основними перевагами цього датчика є висока точність вимірювань, стійкість до коливань температури та тиску, простота обслуговування й очищення. Brookfield TT100 легко інтегрується в автоматизовані процеси, підтримуючи передачу даних у реальному часі, що робить його сумісним із сучасними SCADA-системами. Його універсальність дозволяє використовувати пристрій для вимірювання в'язкості рідин у багатьох галузях, таких як харчова промисловість, хімія, фармацевтика, виробництво фарб і покриттів.

Цей датчик застосовується для контролю в'язкості сиропів, соусів, масел у харчовій промисловості; кремів, лосьйонів і гелів у фармацевтиці та косметичці; а також фарб, лаків і мастил у хімічній та лакофарбовій промисловості.

Brookfield TT100 є ідеальним рішенням для задач, що вимагають стабільного та точного контролю в'язкості. Завдяки своїм характеристикам, він оптимізує виробничі процеси та забезпечує високий рівень якості продукції. Для більш детальної інформації та підбору моделі звертайтеся до офіційних представників Brookfield.

Триходовий клапан Siemens VXI46 з електроприводом SQX62

Siemens VXI46 — це високоякісний двоходовий клапан, який у поєднанні з електроприводом SQX62 утворює ефективну систему регулювання потоку в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC). Ця комбінація забезпечує точний контроль потоків теплоносія, високу надійність і довговічність в експлуатації.



Рисунок 4.4 — Триходовий клапан Siemens VXI46

Клапан Siemens VXI46 виготовлений із латуні, що забезпечує його міцність і стійкість до корозії. Він призначений для роботи при максимальному тиску до 16 бар, що робить його універсальним рішенням для широкого спектра інженерних систем. Завдяки двоходовій конструкції, клапан дозволяє точно регулювати потік теплоносія, забезпечуючи оптимальну ефективність роботи системи.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Ця комбінація клапана VXI46 і електропривода SQX62 ідеально підходить для використання в системах, де важливі точність, надійність та енергоефективність. Її часто застосовують у великих опалювальних системах, теплових пунктах, чиллерах і вентиляційних установках.

Siemens VXI46 з електроприводом SQX62 — це надійне і довговічне рішення для автоматизованого керування потоком у сучасних HVAC-системах. Для отримання детальної інформації про конфігурацію або можливості установки рекомендується звернутися до офіційних представників Siemens.

Регулятор мікропроцесорний Мікрол МІК-52

Мікропроцесорний регулятор Мікрол МІК-52 — це сучасний багатофункціональний пристрій, призначений для автоматичного контролю та регулювання технологічних процесів у промисловості. Завдяки своїм широким функціональним можливостям, цей регулятор активно застосовується у системах управління температурою, тиском, рівнем, витратою та іншими параметрами.

Основною перевагою МІК-52 є його мікропроцесорна технологія, яка забезпечує високу точність вимірювань і стабільність роботи навіть у складних умовах експлуатації. Регулятор підтримує різні типи вхідних сигналів, включаючи термопари, термоопори (Pt100), аналогові сигнали 4-20 мА або 0-10 В, що робить його універсальним для використання з різними сенсорами.

Пристрій має зрозумілий інтерфейс із дисплеєм, на якому відображаються всі необхідні параметри. Це спрощує налаштування й моніторинг роботи регулятора. Крім того, МІК-52 оснащений багатьма функціями, включаючи програмування роботи за часовими інтервалами, кілька режимів управління (наприклад, PID-регулювання), а також можливість роботи з аварійними сигналами.

Регулятор має компактний корпус, що полегшує його монтаж у стандартні щитки керування. Він також підтримує інтеграцію з системами автоматизації за допомогою інтерфейсів передачі даних (наприклад, RS-485, Modbus), що дозволяє використовувати його у сучасних автоматизованих технологічних системах.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



Рисунок 4.6 — Регулятор мікропроцесорний Мікрол МІК-52

Мікрол МІК-52 широко застосовується у харчовій, хімічній, енергетичній галузях та інших сферах, де потрібен точний контроль параметрів. Його функціональність, надійність і простота експлуатації роблять його популярним вибором серед інженерів та операторів.

Цей регулятор є відмінним рішенням для оптимізації технологічних процесів, підвищення енергоефективності й забезпечення стабільності роботи обладнання. Для детального налаштування й консультацій щодо інтеграції пристрою рекомендується звертатися до представників компанії Мікрол або ознайомитися з технічною документацією.

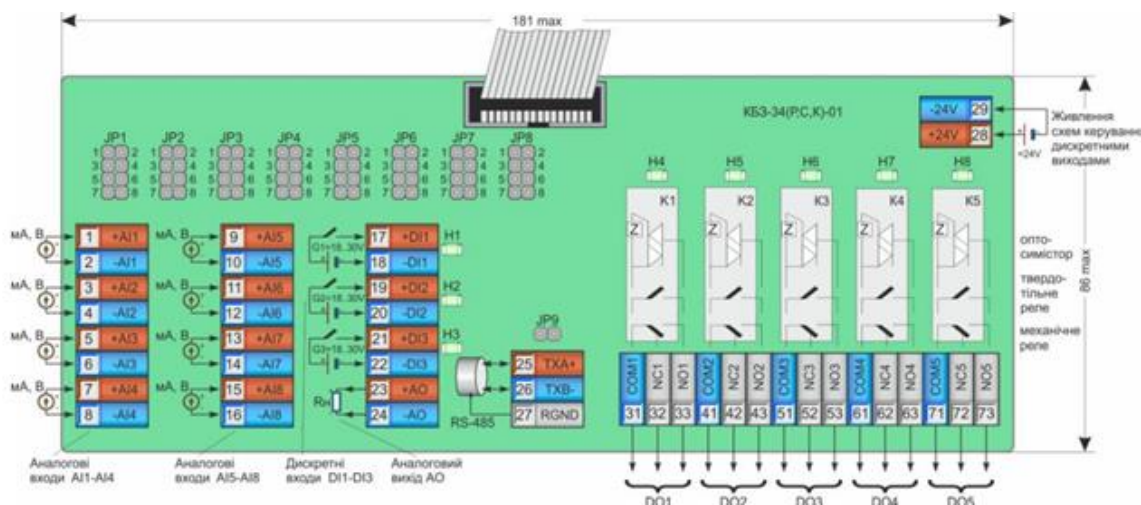


Рисунок 4.7 — Схема зовнішніх з'єднань моделі контролера МІК-52

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

4.3 Розробка функціональної автоматизованої схеми виробництва лакофабрових смол

Функціональні схеми автоматизації є ключовими в проектуванні систем управління технологічними процесами. Давайте розглянемо, для чого потрібна схема на зображенні та загальні функції таких схем.

Функціональні схеми автоматизації виконують важливу роль у проектуванні та експлуатації технічних систем. Вони надають можливість візуалізувати процеси, планувати автоматизацію, здійснювати контроль і моніторинг, а також полегшують ремонт та обслуговування систем. Нижче докладно розглянемо основні функції таких схем та їх загальну важливість.

Однією з ключових функцій функціональних схем є візуалізація процесу. Ці схеми дають чітке уявлення про взаємодію різних компонентів у системі, забезпечуючи її наочне представлення. Вони дозволяють операторам зрозуміти, як працює система в реальному часі, що сприяє її ефективному контролю та управлінню. Завдяки цьому оператори можуть своєчасно реагувати на можливі відхилення, забезпечуючи стабільну роботу всієї системи.

Функціональні схеми також відіграють важливу роль у плануванні автоматизації. Інженери використовують їх для розробки нових систем автоматизації, що дозволяє створювати ефективніші та економічніші процеси. Чітке розуміння компонентів і їх взаємодії допомагає мінімізувати помилки на етапах проектування, зменшити ризики та підвищити ефективність роботи системи.

Ще однією важливою функцією є контроль і моніторинг. Функціональні схеми відображають, які параметри контролюються в системі, наприклад, температура, тиск, потік або рівень. Вони також вказують місця встановлення датчиків і виконавчих механізмів, що забезпечує точність моніторингу та швидкість реагування на зміни. Завдяки цьому схеми забезпечують прозорість управління і полегшують інтеграцію автоматизованих елементів у виробничі процеси.

Крім того, функціональні схеми є корисними для ремонту та обслуговування. Вони спрощують діагностику несправностей, адже дозволяють швидко визначити проблемну ділянку або компонент системи. Це суттєво скорочує час простоїв та витрати на технічне обслуговування. Також такі схеми стають основою для розробки інструкцій з обслуговування обладнання, що робить процес ремонту більш структурованим і зручним.

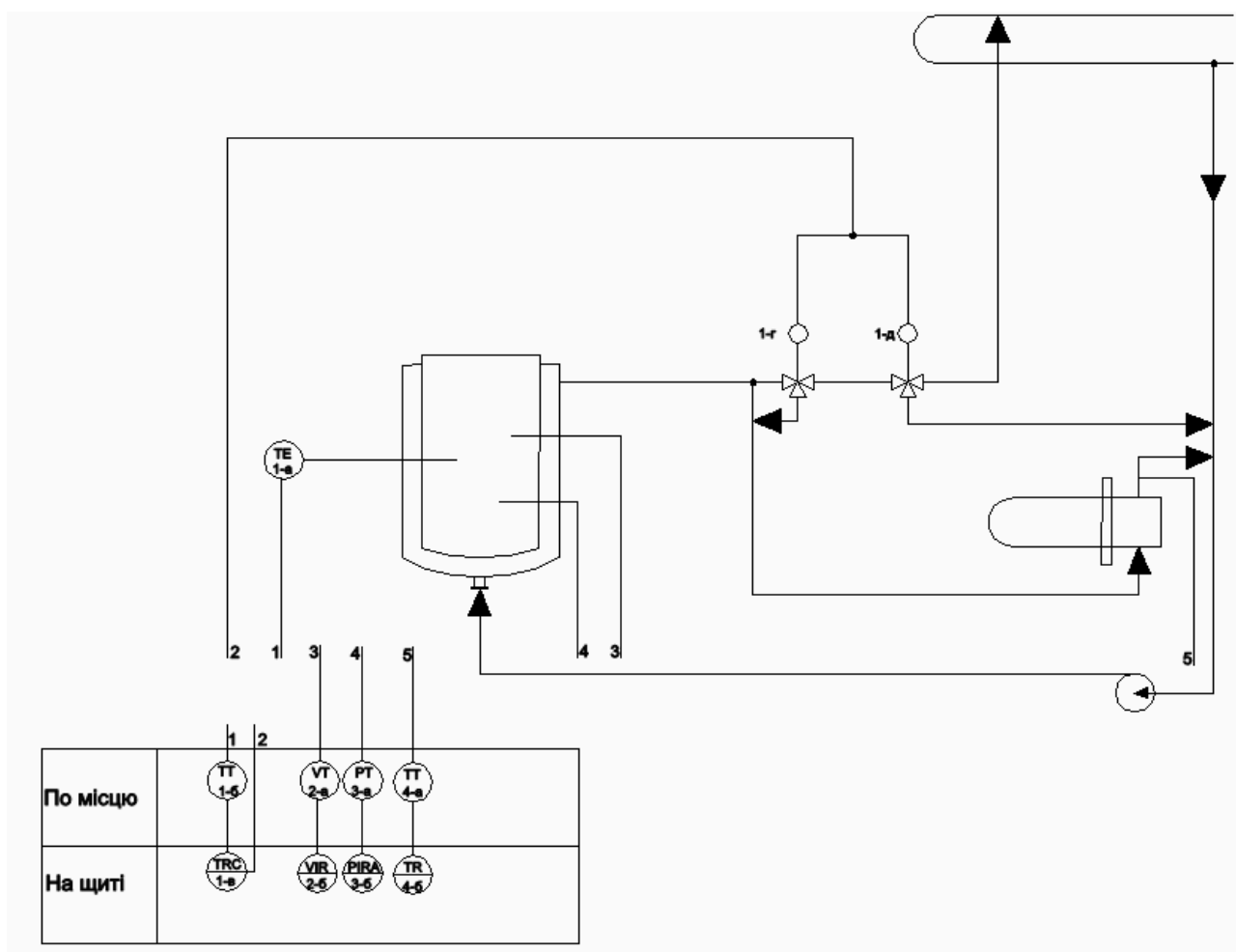


Рисунок 4.8 — Функціональна схема виробництва лакофабрових смол

Що стосується загальної важливості функціональних схем, то вони сприяють уніфікації та стандартизації процесів. Завдяки їм проекти стають зрозумілими для різних фахівців, включаючи інженерів, операторів та технічний

персонал. Це полегшує співпрацю між командами і мінімізує ризик помилок через нерозуміння технічної документації.

Функціональні схеми також дозволяють прогнозувати роботу системи. На етапі проєктування інженери можуть оцінити, як система поводитиметься в різних умовах, і внести необхідні корективи ще до її запуску. Це сприяє запобіганню можливих збоїв і підвищує надійність роботи системи.

Останньою, але не менш важливою перевагою є економія ресурсів. Завдяки чітким схемам автоматизації знижуються витрати на проєктування, впровадження та експлуатацію складних систем. Оператори та інженери отримують інструменти для підвищення ефективності, що в підсумку сприяє економічній доцільності всього процесу.

На данній схемі давач температури Sensit Pt 1000 (поз.1-а) виконує функцію контролю температури сировини в реакторі. Він відіграє велику роль у автоматизації процесу виробництва.



Рисунок 4.9 — Давач температури Sensit Pt 1000

На позиції (2-а) знаходиться давач в'язкості Brookfield TT100. Давач в'язкості відіграє важливу роль у системі автоматизації, виконуючи кілька ключових функцій. Однією з них є контроль якості продукту. Давач забезпечує підтримку стабільних властивостей рідини, що є критично важливим у таких

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

галузях, як харчова, хімічна та фармацевтична промисловість. Він допомагає виявляти відхилення від заданих параметрів і своєчасно вживати заходів для корекції процесу, запобігаючи погіршенню якості продукції.



Рисунок 4.10 — Давач в'язкості Brookfield TT100

Іншою важливою функцією є моніторинг процесу. Давачі постійно передає дані про в'язкість рідини на блок управління. Це дозволяє операторам або автоматизованій системі швидко реагувати на зміни параметрів, наприклад, при додаванні нових компонентів у систему, нагріванні чи охолодженні рідини. Таким чином, моніторинг забезпечує стабільність технологічного процесу та його відповідність вимогам.

Давач також сприяє оптимізації енергоспоживання. Завдяки точним вимірюванням в'язкості можна налаштувати роботу насосів і мішалок так, щоб вони працювали максимально ефективно з мінімальними витратами енергії. Це особливо важливо для великих виробництв, де енергозатрати відіграють значну роль у загальних витратах.

Останньою, але не менш важливою функцією є автоматичне керування. Давач дозволяє системі автоматично регулювати процеси, такі як змінювання швидкості роботи мішалок або температури нагрівання. У випадках, коли в'язкість рідини виходить за допустимі межі, система оперативно вживає

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

коригувальних заходів без необхідності втручання оператора. Це забезпечує не тільки ефективність, а й надійність роботи всієї технологічної системи.

Таким чином, давач в'язкості виконує комплексну функцію, забезпечуючи якість, стабільність і енергоефективність виробничих процесів, а також сприяючи автоматизації та оптимізації роботи системи.

Давач тиску WİKA A-10 РТ позиція (3-а) давач тиску WİKA A-10 РТ, розташований на позиції (3-а), виконує критичну роль у забезпеченні стабільної та безпечної роботи технологічного процесу. Його основним завданням є точне вимірювання тиску рідин або газів у системі, що є одним із ключових параметрів для контролю процесів у різних галузях промисловості. Завдяки високій точності та надійності цей давач широко використовується у виробничих системах різної складності.



Рисунок 4.11 — Давач тиску WİKA A-10

Одна з головних функцій давача — моніторинг тиску. Він забезпечує постійне відстеження рівня тиску в системі, передаючи отримані дані на блок управління або операторський пульт. Це дозволяє вчасно виявляти відхилення від заданих параметрів і швидко реагувати на можливі збої. Такий моніторинг забезпечує стабільність роботи системи навіть у разі зміни зовнішніх або внутрішніх умов.

Давач також виконує важливу функцію захисту обладнання. Контроль тиску допомагає запобігти аварійним ситуаціям, таким як перевищення допустимих рівнів тиску або розгерметизація системи. Це дозволяє уникнути

пошкоджень ключових елементів обладнання, скорочує ризик простоїв і знижує витрати на ремонт.

Ще однією важливою перевагою є його внесок у оптимізацію процесу. За допомогою даних від давача можна налаштовувати роботу насосів, клапанів та інших виконавчих механізмів, забезпечуючи максимальну ефективність і зниження енергоспоживання. Крім того, WІКА А-10 РТ сприяє автоматизації системи, дозволяючи автоматично регулювати параметри тиску для забезпечення стабільного ходу технологічного процесу.

Таким чином, давач тиску WІКА А-10 РТ є невід'ємним компонентом сучасних систем автоматизації. Він виконує важливі функції моніторингу, захисту, оптимізації та автоматизації, що робить його ключовим елементом для забезпечення надійності, ефективності та безпеки роботи виробничих систем.

Триходовий клапан Siemens VХI46 із електроприводом SQX62, розташований на позиціях 1-г та 1-д, є важливим елементом системи автоматизації, який забезпечує ефективне регулювання потоків рідини або газу. Завдяки своїй конструкції він дозволяє змінювати напрямок потоків, розподіляти їх між двома контурами або змішувати, залежно від потреб технологічного процесу. У поєднанні з електроприводом SQX62 клапан забезпечує високоточну роботу та простоту інтеграції в автоматизовані системи.



Рисунок 4.12 — Триходовий клапан
Siemens VХI46 з електроприводом SQX62.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Основна функція клапана полягає в розподілі та змішуванні потоків. Він може направляти потік у вибраний канал, що особливо важливо у процесах, де потрібне гнучке регулювання. Крім того, клапан здатний змішувати два потоки для досягнення необхідних параметрів, таких як температура чи витрата. Це робить його універсальним рішенням для систем тепlopостачання, вентиляції, кондиціонування та інших технологічних процесів.

Завдяки електроприводу SQX62 клапан забезпечує автоматизацію управління потоками. Привід дозволяє дистанційно керувати положенням клапана, що значно підвищує ефективність роботи системи. Також електропривод забезпечує швидкий і точний відгук на зміну команд, що важливо для динамічних процесів, де потрібна миттєва реакція на зміну умов.

Окрім цього, клапан сприяє енергоефективності та безпеці системи. Точне регулювання потоків дозволяє мінімізувати витрати енергії на нагрівання, охолодження чи транспортування рідини. Водночас, правильний розподіл потоків зменшує ризики перевантаження або аварійних ситуацій, забезпечуючи надійність роботи всієї системи.

Таким чином, триходовий клапан Siemens VXI46 із електроприводом SQX62 є ключовим компонентом для забезпечення гнучкого, точного та енергоефективного регулювання потоків у автоматизованих технологічних системах. Він поєднує універсальність, надійність і простоту інтеграції, що робить його незамінним елементом сучасних виробничих і інженерних процесів.

Отже, функціональні схеми автоматизації є незамінним інструментом у сучасному виробництві. Вони забезпечують інтеграцію, контроль і ефективність систем, водночас спрощуючи процес їх експлуатації та обслуговування. Завдяки цьому автоматизація стає доступнішою, надійнішою і економічно вигіднішою.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

4.4 Розробка додаткових проектних рішень

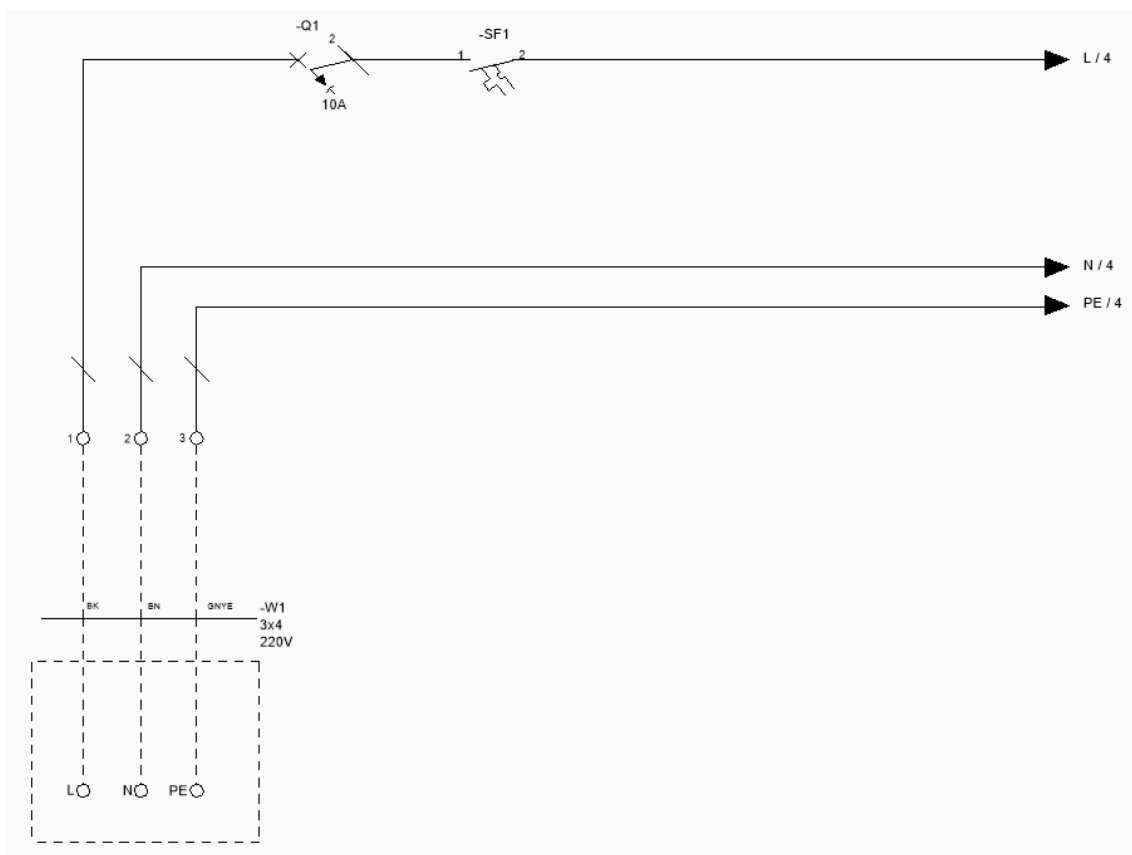


Рисунок 4.13 — Схема стандартного підключення живлення

Вона представляє частину електричної інсталяції, де:

- -Q1 — автоматичний вимикач (10А), який забезпечує захист кола від перевантаження та короткого замикання.
- -SF1 — перемикач або запобіжник, який може відключати коло вручну.
- W1 — кабель з трьома провідниками (фаза, нуль, і заземлення) на напругу 220 В.
- X4 — клемна коробка, через яку розподіляється живлення (L — фаза, N — нуль, PE — заземлення).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ

Арк.

65

Схема також містить окремі лінії живлення для виконавчих пристроїв, що підключені через L/5 (фазу) та PE/3 (заземлення). Кожен елемент має чітко позначені контакти, що спрощує інтеграцію обладнання в загальну систему керування.

На схемі також видно, що до аналогових входів 9 (AL5+) і 10 (AL5-) підключено давач в'язкості Brookfield TT100, який забезпечує вимірювання параметрів в'язкості системи. Цей давач передає сигнал у діапазоні 4–20 мА, що дозволяє регулятору МІК-52 отримувати точні дані про характеристики рідини чи матеріалу в процесі.

Таким чином, регулятор МІК-52 об'єднує кілька давачів : два давачі температури Sensit Pt 1000, давач тиску WІКА А-10 і давач в'язкості Brookfield TT100, забезпечуючи повний контроль і моніторинг ключових параметрів системи. Це підвищує ефективність роботи виконавчих пристроїв SQN92, які виконують регулюючі дії на основі отриманих даних.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

5 ПРОЕКТУВАННЯ ЩИТА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Щити за конструктивним виконанням класифікуються на шафові (повногабаритні та малогабаритні), панельні (повногабаритні з каркасом або плоскі) і малогабаритні. Пульти поділяються на окремо стоячі, приставні, а також ті, що оснащені приладною приставкою (вертикальною чи похилою).

До стандартного набору належать також допоміжні елементи для щитів і пультів: додаткові панелі з дверцятами або без них, кутові вставки для шафових і панельних щитів, пультів, які дозволяють збирати конструкції різної конфігурації.

Під час проектування щитів та пультів необхідно розв'язати такі завдання:

- а) вибір типу та розміру шаф, панелей із каркасом, корпусів пультів і стійок із допоміжними елементами;
- б) визначення монтажних зон для шафових і панельних щитів із каркасом, малогабаритних щитів, статурів, пультів, декоративних панелей і поворотних рам;
- в) розміщення приладів і апаратури, а також компонентів для їхнього монтажу на фасаді та всередині шафових і панельних щитів, статурів, пультів і поворотних рам;
- г) компоновка щитів і пультів у диспетчерських або операторських приміщеннях;
- д) планування трас для прокладання електричних і трубних проводок, а також вибір їхніх типів і матеріалів.

5.1 Проектування щита

Проектування щита автоматизації враховує низку аспектів для забезпечення стабільної та надійної роботи системи. Спершу виконується загальний аналіз проекту, визначаються завдання й основні цілі автоматизаційної системи. Формується перелік обладнання та пристроїв, які

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

будуть інтегровані в щит, наприклад, контролери, давачі, приводи, модулі зв'язку тощо.

Далі створюються електричні схеми з відображенням зв'язків між компонентами системи, з урахуванням вимог безпеки. Визначаються засоби захисту, включаючи аварійні вимикачі та системи сигналізації для моніторингу аварійних ситуацій.

Також розробляється система живлення, включно зі схемами подачі енергії та резервного живлення для забезпечення безперебійної роботи. Передбачаються системи моніторингу й управління, які включають інтерфейси та панелі для спостереження і налаштування параметрів системи.

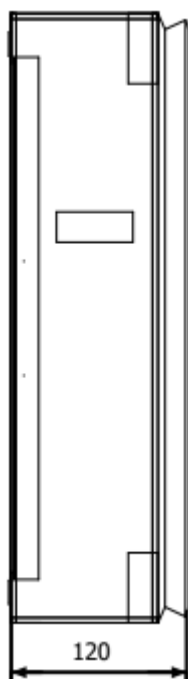


Рисунок 5.1 — Проектування щита автоматики вид збоку

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

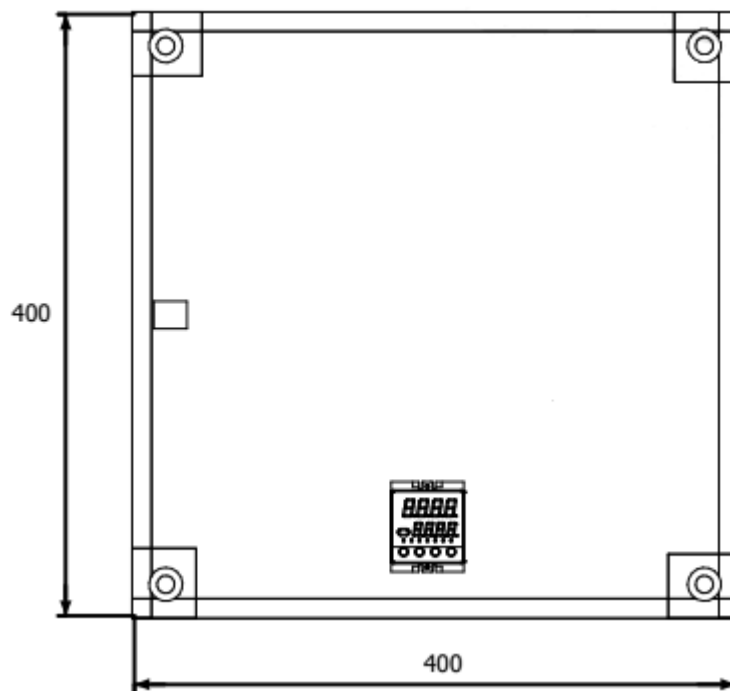


Рисунок 5.2 — Проектування щита автоматики від спереду

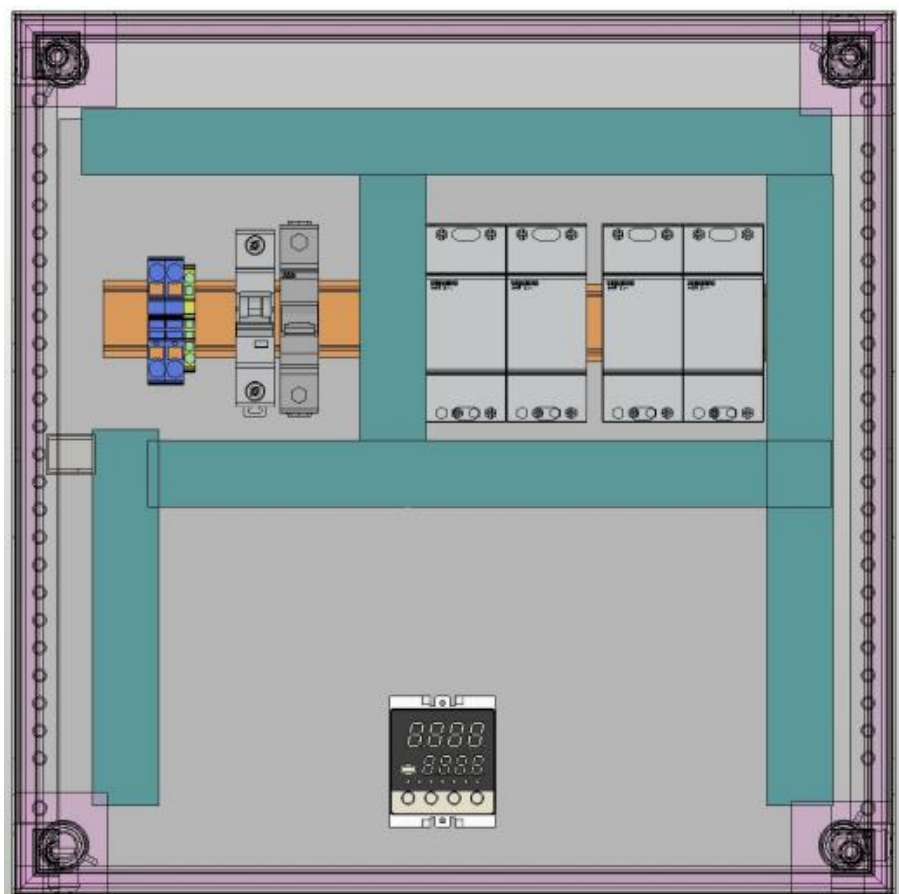


Рисунок 5.3 — Проектування щита автоматики від 3d

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ

Арк.

70

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У процесі виконання курсової роботи на тему «Установка для технічного виробництва лакових смол» було розроблено та проаналізовано функціональну схему автоматизації, яка забезпечує ефективну, безпечну та стабільну роботу технологічної установки. Основна мета полягала в розробці системи автоматизації, здатної забезпечити точний контроль ключових параметрів процесу, таких як в'язкість, тиск, температура та розподіл потоків, з метою підвищення якості кінцевого продукту.

Встановлено, що використання сучасних засобів автоматизації, таких як датчики в'язкості Brookfield TT100, тиску WIKA A-10 PT, триходових клапанів Siemens VXI46 з електроприводом SQX62, дозволяє забезпечити точний моніторинг і регулювання параметрів технологічного процесу. Зокрема, датчик Brookfield TT100 забезпечує постійний контроль в'язкості, що є критичним для підтримання якості лакових смол. Датчик WIKA A-10 PT виконує функції моніторингу тиску, сприяє захисту обладнання від аварійних ситуацій та оптимізації енерговитрат. Триходові клапани Siemens VXI46 з електроприводом забезпечують гнучке регулювання потоків, що важливо для змішування компонентів та розподілу рідини між різними контурами.

Розроблена система автоматизації дозволяє:

- підтримувати стабільність параметрів технологічного процесу;
- забезпечувати контроль якості продукту;
- знижувати енергозатрати за рахунок оптимізації роботи насосів, клапанів і нагрівальних елементів;
- зменшувати ризик аварійних ситуацій шляхом точного моніторингу та регулювання параметрів процесу.

Таким чином, функціональна схема автоматизації, розроблена в рамках цієї курсової роботи, відповідає сучасним вимогам до технічного обладнання для виробництва лакових смол. Вона дозволяє підвищити ефективність виробничих процесів, знизити витрати на експлуатацію обладнання та покращити якість

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

кінцевого продукту. Реалізація такої системи автоматизації є важливим кроком до вдосконалення технологій виробництва та інтеграції їх із сучасними вимогами промислової автоматизації.

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

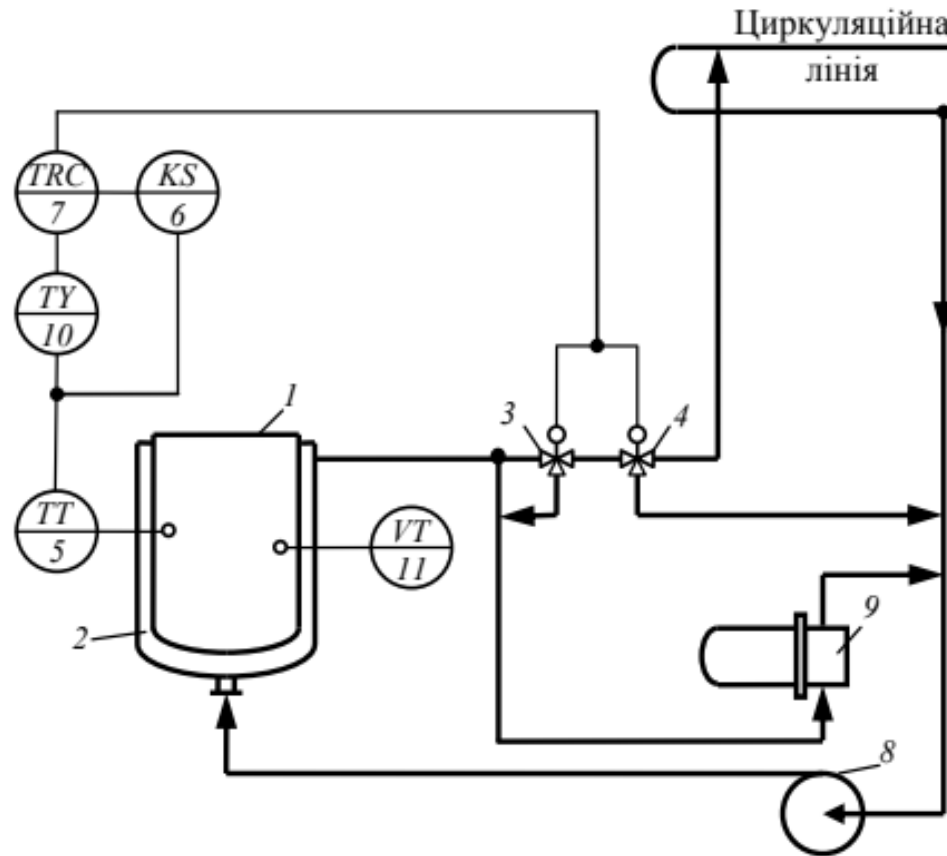
1. М. В. Лукінюк Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Біблігр.: с. 230-231. – 200.
2. М. В. Лукінюк Технологічні вимірювання та прилади Технологічні вимірювання та прилади: Навч. посіб. для курс. проектування. – К., 2002. – 257 с.: іл.
3. Дранчук М.М. Проектування систем автоматизації технологічних процесів в нафтовій та газовій промисловості Навч. посіб. для курс. проектування. – К., 2005.-230
4. Ротач В. Я. Теория автоматического управления [Текст]: учеб. для студ. вузов / В. Я. Ротач. – Москва: Изд. МЭИ, 2004. – 400 с. – Библиогр.: с. 394. – ISBN 978-5-903072-69-9.
5. Вікіпедія – вільна енциклопедія [Електронний ресурс] // <http://ua.wikipedia.org>
6. А. І. Жученко, Т. В. Аверіна Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами» напрямку «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» /Жученко А.І., Т.В.Аверіна – К.: КПІ, 2009. -40 с

					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

ДОДАТКИ

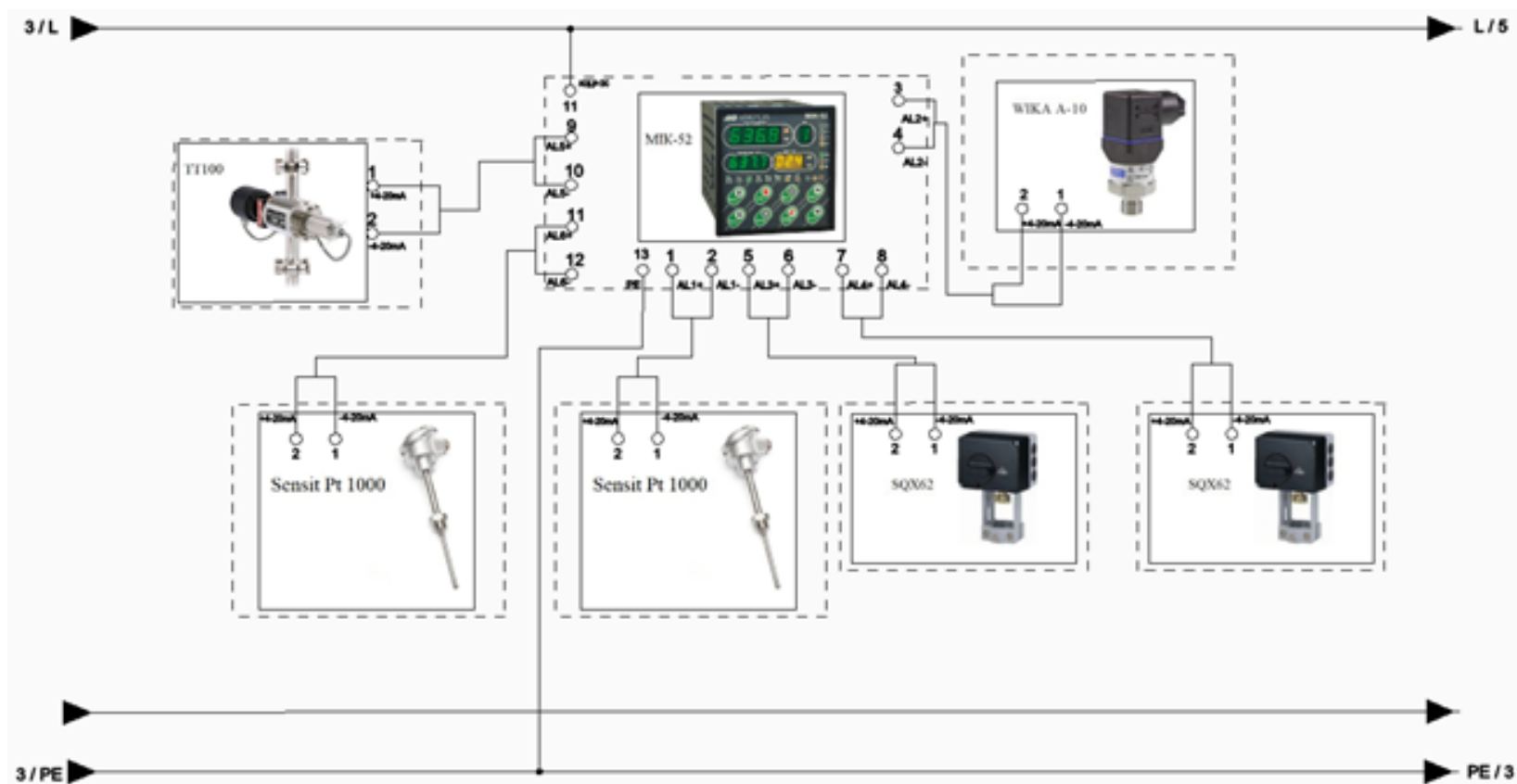
					БР. АКП-57.00.00.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Додаток А



					БР.АКП-57.00.00.001				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація процесу виробництва лакофарбових смол	Літера	Маса	Масштаб	
Розробив		Підгородецький С.Р							
Перевірив		Лагойда А.І.							
Т. Контроль									
Рецензент		Чигур І.І.				Арк. 75	Аркушів 79		
Н. Контроль		Кучмистенко О.В.			Принципова схема виробництва лакофарбових смол	АКП-23-2К ІФНТУНГ			
Затвердив		Лагойда А.І.							

Додаток Г



					БР.АКП-57.00.00.004					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація процесу виробництва лакофарбових смол			Літера	Маса	Масштаб
					Електрична схема підключення обладнання			АКП-23-2К ІФНТУНГ		
					Арк. 78			Аркушів 79		

