

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ

Група АКП-22-1

Олександр Дем'яник

2026

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

Дем'яник Олександр Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.51:66.012.1
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення системи автоматизації виробництва хлороксиду міді
(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 О.В. Кучмистенко
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент І.І. Чигур
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-22-1 О.А. Дем'яник
(шифр групи) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент Л.І. Фешанич
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Допущено до захисту Завідувач кафедри

доцент А.І. Лагойда
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

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

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

« » 20 року

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Дем'янику Олександру Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматизації виробництва хлороксиду
міді

керівник роботи Фешанич Лідія Ігорівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «29» травня 2026 року № 192/7

2. Строк подання студентом роботи 12.06.2026

3. Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики, методичні
Вказівки, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) 1. Аналіз технологічно процесу виробництва хлороксиду міді.

2. Синтез системи керування процесом виготовлення хлороксиду міді.

3. Розробка проектної складової системи автоматичного керування.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

БР.АКП-58.00.00.001 – Схема технологічного процесу

БР.АКП-58.00.00.002 – Матеріальний та тепловий баланс

БР.АКП-58.00.00.003 – Передавальні функції по досліджуваних каналах

БР.АКП-58.00.00.004 – Результати синтезу САК

БР.АКП-58.00.00.005 – Функціональна схема автоматизації

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 06.11.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічно процесу виробництва хлороксиду міді.	30.04.2026	
2	Синтез системи керування процесом виготовлення хлороксиду міді.	30.05.2026	
3	Розробка проектної складової системи автоматичного керування.	12.06.2026	

Студент _____
(підпис)

О. А. Дем'яник _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Л. І. Фешанич _____
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 65 сторінок друкованого тексту, 16 рисунків, 11 переліків посилань на джерела.

Тема: «Розроблення системи автоматизації виробництва хлороксиду міді».

Об'єктом дослідження є технологічний процес виробництва хлороксиду міді.

Предметом дослідження є система автоматичного регулювання температури плавильної печі в складі виробництва хлороксиду міді.

Мета проекту: розроблення системи автоматизації процесу виробництва хлороксиду міді з автоматичним регулюванням температурного режиму плавильної печі.

Методи дослідження: методи аналізу та синтезу технологічних систем, методи теорії автоматичного керування, математичного моделювання динамічних об'єктів, розрахунку матеріальних і теплових балансів, структурного та параметричного синтезу систем автоматичного регулювання. Моделювання системи керування виконано із використанням програмного середовища MATLAB Simulink.

Результати кваліфікаційної роботи: виконано аналіз технологічного процесу виробництва хлороксиду міді та досліджено плавильну піч як об'єкт автоматизації. Розроблено математичну модель об'єкта керування, виконано аналіз його статичних і динамічних характеристик, складено матеріальний та тепловий баланси плавильної печі. Проведено синтез системи автоматичного регулювання температури, досліджено її стійкість та показники якості керування. Розроблено функціональну схему автоматизації відповідно та здійснено вибір сучасних технічних засобів автоматизації.

Ключові слова: автоматизація, технічні засоби, хлороксид міді, регулювання, температура

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 65 pages of printed text, 16 figures, and 11 references.

Title: Development of an Automation System for Copper Oxychloride Production

Object of research: the technological process of copper oxychloride production.

Subject of research: the automatic temperature control system of the copper melting furnace used in the copper oxychloride production process.

Purpose of the project: to develop an automation system for the copper oxychloride production process with automatic control of the temperature regime of the copper melting furnace.

Research methods: methods of analysis and synthesis of technological systems, methods of automatic control theory, mathematical modeling of dynamic objects, calculation of material and heat balances, as well as structural and parametric synthesis of automatic control systems. The control system was modeled using the MATLAB Simulink software environment.

Results of the qualification thesis: an analysis of the technological process of copper oxychloride production was carried out, and the copper melting furnace was investigated as an automation object. A mathematical model of the control object was developed, its static and dynamic characteristics were analyzed, and the material and heat balances of the melting furnace were determined. The synthesis of the automatic temperature control system was performed, and its stability and control quality indicators were investigated. A functional automation diagram was developed, and modern automation equipment was selected and justified.

Keywords: automation, technical equipment, copper oxychloride, control, temperature.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ХЛОРОКСИДУ МІДІ.....	10
1.1 Призначення та сфери застосування хлороксиду міді.....	10
1.2 Фізико-хімічні основи процесу виробництва.....	12
1.3 Характеристика сировини та допоміжних матеріалів.....	15
1.4 Опис технологічної схеми виробництва.....	18
1.5 Характеристика основного технологічного обладнання.....	23
1.6 Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації.....	27
Висновки до розділу.....	28
2 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВИГОТОВЛЕННЯ ХЛОРОКСИДУ МІДІ.....	30
2.1 Матеріальні та енергетичні потоки виробництва.....	30
2.2 Матеріальний та тепловий баланс плавильної печі.....	31
2.3 Статичні характеристики плавильної печі як об'єкта керування...	33
2.4. Синтез системи автоматичного регулювання температури в печі	34
Висновки до розділу.....	41
3 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК.....	43
3.1. Розроблення функціональної схеми.....	43
3.2 Вибір технічних засобів автоматизації.....	46
3.2.1 Термoeлектричний перетворювач температури	48
3.2.2 Регулюючий клапан	49
3.2.3 Витратомір на основі ультразвукової технології.....	52
3.2.4 Восьмиканальний мікропроцесорний регулятор.....	54

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розроблення системи автоматизації виробництва хлороксиду міді	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Дем'яник О.А.					6	
Перевір.		Фешанич Л.І.						
Реценз.		Чигур І.І.						
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.						
Затверд.		Лагойда А.І.				Група АКП-22-1 ІФНТУНГ		

3.2.5 Додаткові технічні засоби автоматизації.....	56
Висновки до розділу.....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	64

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Хімічна промисловість є однією з провідних галузей сучасної економіки, продукція якої широко використовується в сільському господарстві, машинобудуванні, будівництві та інших сферах діяльності. В умовах постійного зростання вимог до якості продукції та економічності виробництва особливого значення набуває впровадження сучасних систем автоматизації технологічних процесів. Автоматизація дозволяє забезпечити стабільність технологічних режимів, підвищити продуктивність обладнання, зменшити витрати сировини та енергетичних ресурсів, а також покращити умови праці обслуговуючого персоналу.

Одним із важливих продуктів хімічної промисловості є хлороксид міді, який широко застосовується як фунгіцид для захисту сільськогосподарських культур від грибкових захворювань. Завдяки високій ефективності та відносно низькій фітотоксичності він використовується для боротьби з паршею яблуні та груші, фітофторозом томатів, мільдью винограду, кучерявістю листя персика та іншими поширеними хворобами рослин. Постійна потреба аграрного сектору в засобах захисту рослин обумовлює необхідність підвищення ефективності виробництва даного препарату та забезпечення стабільної якості готової продукції.

Технологічний процес виробництва хлороксиду міді належить до складних багатостадійних хіміко-технологічних процесів. Він включає плавлення мідного лому, грануляцію міді, розчинення та хлорування металу, доокиснення хлоридів міді, осадження хлороксиду міді, згущення, фільтрацію, промивання та сушіння готового продукту. Кожна стадія процесу характеризується певними технологічними параметрами, які необхідно підтримувати в заданих межах для забезпечення необхідної продуктивності обладнання та отримання продукції встановленої якості.

Особливе місце у технологічній схемі займає стадія плавлення мідного лому. Саме на цьому етапі формується вихідна сировинна база для подальших хімічних перетворень. Від стабільності роботи плавильної печі залежать якість отриманого розплаву, ефективність процесів грануляції та розчинення міді, а також загальні

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

техніко-економічні показники виробництва. Порушення температурного режиму може призвести до збільшення енерговитрат, погіршення якості розплаву та зниження продуктивності технологічної лінії.

Плавильна піч є об'єктом з великою тепловою інерційністю та значними енергетичними витратами. Під час її роботи необхідно забезпечувати підтримання температури на рівні близько 1200 °С, контролювати подачу палива та повітря, а також враховувати вплив зовнішніх і внутрішніх збурень. Ефективне вирішення цих завдань можливе лише за умови використання сучасних засобів автоматичного контролю та регулювання.

Сучасний розвиток мікропроцесорної техніки та промислових засобів автоматизації створює широкі можливості для побудови високоефективних систем керування технологічними процесами. Використання електронних регуляторів, інтелектуальних датчиків, сучасних виконавчих механізмів і засобів візуалізації дозволяє забезпечити високу точність підтримання технологічних параметрів, оперативно реагувати на зміни режимів роботи та підвищувати рівень безпеки виробництва.

Практичне значення роботи полягає у розробленні технічних рішень щодо автоматизації процесу плавлення мідного лому, які спрямовані на підвищення стабільності технологічного режиму, зниження енергетичних витрат, покращення якості підготовки сировини та підвищення ефективності виробництва хлороксиду міді в цілому.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ХЛОРОКСИДУ МІДІ

1.1 Призначення та сфери застосування хлороксиду міді

Хлороксид міді належить до класу основних солей міді та є одним із найбільш поширених мідьвмісних фунгіцидів, що використовуються у сучасному сільському господарстві. За хімічною природою він являє собою основний хлорид міді, який може бути представлений формулами $3\text{CuO} \cdot \text{CuCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ або $3\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Речовина має характерне зеленувато-блакитне забарвлення, практично не розчиняється у воді та характеризується високою хімічною стабільністю під час зберігання і використання.

Важливе значення хлороксиду міді обумовлене його високою біологічною активністю щодо широкого спектра грибкових та бактеріальних захворювань рослин. Препарат належить до контактних фунгіцидів, дія яких базується на утворенні на поверхні рослин захисного шару, що перешкоджає розвитку патогенних мікроорганізмів. Потрапляючи на поверхню листя, плодів або пагонів, частинки хлороксиду міді поступово виділяють іони міді, які пригнічують життєдіяльність грибків та бактерій, блокуючи перебіг біохімічних процесів у клітинах збудників хвороб.

Широке використання хлороксиду міді пояснюється поєднанням високої ефективності та відносно низької фітотоксичності. На відміну від багатьох інших препаратів захисту рослин, він забезпечує тривалий профілактичний ефект і водночас не викликає значних ушкоджень культурних рослин за умови дотримання рекомендованих норм внесення. Завдяки цьому препарат широко застосовується у садівництві, овочівництві та виноградарстві.

Особливо ефективним є використання хлороксиду міді для боротьби з паршею яблуні та груші, фітофторозом томатів і картоплі, мільдью виноградної лози, кучерявістю листя персика, моніліозом плодових культур та низкою інших небезпечних грибкових захворювань. Крім фунгіцидної дії, препарати на основі

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

хлороксиду міді проявляють певну бактерицидну активність, що додатково розширює сферу їх застосування.

Важливою перевагою хлороксиду міді є його стійкість до атмосферних впливів. Після нанесення на поверхню рослин препарат добре утримується на листках і плодах, забезпечуючи захисний ефект навіть після опадів. Завдяки цьому зменшується потреба у повторних обробках, що сприяє зниженню витрат на захист рослин та підвищенню економічної ефективності сільськогосподарського виробництва.

Окрім аграрного сектору, хлороксид міді знаходить застосування у виробництві комбінованих препаратів захисту рослин, де він використовується як активний компонент у суміші з органічними фунгіцидами, поверхнево-активними речовинами та стабілізуючими добавками. Це дозволяє розширити спектр його дії та підвищити ефективність боротьби з комплексом захворювань.

Зростання світового попиту на засоби захисту рослин сприяє постійному розвитку технологій виробництва хлороксиду міді. Сучасні вимоги до якості продукції передбачають отримання препарату з високим вмістом основної речовини, рівномірним гранулометричним складом, низьким вмістом домішок та стабільними фізико-хімічними характеристиками. Досягнення таких показників можливе лише за умови ретельного дотримання технологічного режиму на всіх стадіях виробництва.

Технологічний процес отримання хлороксиду міді є складним багатостадійним хіміко-технологічним виробництвом, яке включає підготовку та плавлення мідної сировини, грануляцію міді, розчинення металу в циркуляційному розчині під дією хлороповітряної суміші, окиснення хлоридів міді, осадження цільового продукту карбонатом кальцію, згущення суспензії, фільтрацію, промивання, введення функціональних добавок та сушіння готового продукту. Кожна із зазначених стадій характеризується власними технологічними параметрами, які суттєво впливають на вихід продукції, її якість та економічні показники виробництва.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи використання токсичного хлору, високотемпературних процесів плавлення міді та необхідність підтримання строго визначених режимів осадження і сушіння, виробництво хлороксиду міді висуває підвищені вимоги до систем контролю та автоматизації. Автоматизоване керування технологічними параметрами дозволяє забезпечити стабільність роботи обладнання, підвищити якість готової продукції, знизити витрати сировини та енергоресурсів, а також підвищити рівень промислової безпеки виробництва.

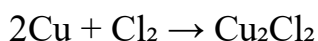
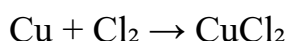
Такий підхід робить процес виробництва хлороксиду міді перспективним об'єктом для впровадження сучасних автоматизованих систем контролю та керування, що є актуальним завданням хімічної промисловості та основою даної роботи.

1.2 Фізико-хімічні основи процесу виробництва

Виробництво хлороксиду міді ґрунтується на послідовному перебігу низки фізико-хімічних процесів, пов'язаних із переведенням металевої міді в розчинні сполуки та подальшим отриманням малорозчинної основної солі міді шляхом осадження. Ефективність технологічного процесу значною мірою визначається кінетикою хімічних реакцій, інтенсивністю масообміну між фазами, температурним режимом та концентрацією реагентів у реакційному середовищі.

Основною сировиною виробництва є металева мідь, яка надходить у процес у вигляді гранул після стадії плавлення та грануляції. З метою переведення міді в розчинний стан використовується хлороповітряна суміш, що забезпечує одночасно окиснення металу та утворення хлоридних сполук міді. Взаємодія металевої міді з хлором є гетерогенним процесом, який відбувається на поверхні гранул і супроводжується переходом міді у двовалентний та одновалентний стан.

На початковій стадії в колоні розчинення протікають реакції утворення хлориду міді(II) та хлориду міді(I):

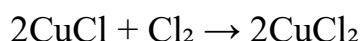


					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Швидкість цих реакцій визначається площею поверхні гранул міді, концентрацією хлору в газовій суміші, температурою розчину та інтенсивністю контактування фаз. Збільшення температури сприяє прискоренню процесів розчинення міді та утворення хлоридів, однак надмірне підвищення температури може призводити до посилення випаровування води та зростання втрат реагентів. Саме тому температура циркуляційного розчину підтримується в межах 70–90 °С, що забезпечує оптимальне співвідношення між швидкістю реакцій та енергетичними витратами.

Утворені хлориди міді перебувають у розчині не лише у вигляді простих іонів, але й формують комплексні сполуки. Особливо характерним є утворення комплексів одновалентної міді з хлорид-іонами, що надають розчину характерного коричневого забарвлення. Наявність комплексних форм сприяє підвищенню розчинності міді та стабілізації складу циркуляційного розчину. Хімічна рівновага між різними формами існування міді суттєво залежить від концентрації хлорид-іонів, кислотності середовища та температури.

Для забезпечення максимального виходу цільового продукту необхідно перевести практично всю мідь у форму хлориду міді(II), оскільки саме ця сполука бере участь у реакції осадження хлороксиду міді. З цією метою після колони розчинення розчин направляється до колони доокиснення, де здійснюється додаткове насичення хлороповітряною сумішшю. У колоні протікає реакція:



Дана стадія має принципове значення для стабілізації складу технологічного розчину та забезпечення високого ступеня використання міді. Недостатнє доокиснення призводить до накопичення одновалентної міді, що негативно впливає на перебіг наступних стадій процесу та знижує якість кінцевого продукту.

Після завершення стадії окиснення розчин із високим вмістом хлориду міді(II) надходить до осаджувача, де відбувається основна технологічна реакція утворення хлороксиду міді. Як осаджувач використовується суспензія крейди, основним компонентом якої є карбонат кальцію. У водному середовищі карбонат кальцію

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

частково нейтралізує кислотність розчину та створює умови для утворення основної солі міді.

Основна реакція процесу має вигляд:



У результаті реакції утворюється малорозчинний хлороксид міді, який випадає в осад у вигляді дрібнодисперсних кристалів. Одночасно в рідкій фазі накопичується хлорид кальцію, а внаслідок розкладання карбонату кальцію виділяється вуглекислий газ. Виділення газової фази сприяє перемішуванню реакційної маси, однак при надмірній інтенсивності може викликати спінювання та погіршення умов осадження.

Важливим фактором, що впливає на перебіг реакції, є температура. Практикою встановлено, що найбільш сприятливі умови для формування кристалічної структури хлороксиду міді забезпечуються при температурі 55–75 °С. За нижчих температур сповільнюється швидкість реакції та погіршуються умови кристалізації, а за вищих температур можливе часткове руйнування структури осаду та збільшення витрат енергії.

Не менш важливим параметром є кислотність середовища. Під час осадження відбувається поступове підвищення рН, що обумовлено нейтралізуючою дією карбонату кальцію. Недостатнє значення рН призводить до неповного осадження міді та втрат продукту з маточним розчином. Надмірне підвищення рН може спричинити утворення побічних гідроксидних сполук міді та погіршення якості готового продукту. Саме тому контроль кислотності належить до найважливіших завдань автоматизованої системи керування.

Процес осадження супроводжується складними явищами кристалізації та агломерації частинок. Від швидкості перемішування залежить рівномірність розподілу реагентів у реакційному об'ємі, ступінь пересичення розчину та розмір кристалів хлороксиду міді. Надто інтенсивне перемішування може викликати руйнування кристалів і погіршення фільтраційних властивостей осаду, тоді як

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

недостатнє перемішування призводить до локальних зон пересичення та неоднорідності продукту.

Після завершення реакції утворюється суспензія, яка містить тверду фазу хлороксиду міді та маточний розчин, насичений хлоридом кальцію. Подальші стадії згущення, фільтрації та промивання спрямовані на відокремлення твердої фази від розчину та видалення розчинних домішок. Ефективність цих процесів значною мірою залежить від гранулометричного складу осаду, який формується саме на стадії осадження.

Заключною стадією технологічного процесу є сушіння продукту в розпилювальній сушарці. У процесі сушіння відбувається видалення вільної та частково зв'язаної вологи з поверхні частинок хлороксиду міді. Тепломасообмін між гарячим повітрям і частинками продукту визначає швидкість випаровування вологи та кінцеві характеристики порошку. Надмірне підвищення температури сушіння може призвести до зміни структури продукту та погіршення його експлуатаційних властивостей, тому температурний режим сушарки повинен підтримуватися з високою точністю.

Таким чином, процес виробництва хлороксиду міді являє собою складну сукупність взаємопов'язаних хімічних, теплових та масообмінних процесів. Найбільший вплив на якість готового продукту та економічність виробництва мають температура, концентрація хлориду міді, витрата хлороповітряної суміші, рН середовища, співвідношення реагентів та інтенсивність перемішування. Саме ці параметри є основними об'єктами контролю та автоматичного регулювання під час розроблення системи автоматизації виробництва

1.3 Характеристика сировини та допоміжних матеріалів

Якість готового хлороксиду міді значною мірою визначається властивостями вихідної сировини та допоміжних реагентів, які використовуються на різних стадіях технологічного процесу. Від хімічного складу сировинних компонентів, вмісту

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

домішок, фізичного стану та стабільності їх подачі залежить ефективність перебігу хімічних реакцій, вихід цільового продукту, енергоємність виробництва та показники якості готового препарату.

Основною сировиною для виробництва хлороксиду міді є мідний лом, який являє собою відходи мідного виробництва або вироби з міді, що втратили експлуатаційну придатність. Використання вторинної мідної сировини дозволяє значно знизити собівартість продукції та підвищити економічну ефективність виробництва. Перед використанням мідний лом проходить сортування та підготовку з метою видалення сторонніх включень, які можуть негативно впливати на технологічний процес.

Мідь виконує роль основного джерела іонів Cu^{2+} , з яких у подальшому утворюється хлороксид міді. Вміст міді у вихідній сировині повинен бути максимально високим, оскільки наявність домішок заліза, цинку, свинцю, нікелю та інших металів призводить до забруднення циркуляційного розчину і може спричиняти утворення побічних сполук. Такі домішки здатні накопичуватися в технологічній системі, погіршуючи фізико-хімічні властивості кінцевого продукту та ускладнюючи процес його очищення. Особливу увагу приділяють контролю вмісту органічних забруднень, мастил і лакофарбових покриттів, які під час плавлення можуть утворювати токсичні газоподібні продукти та знижувати ефективність технологічного процесу.

Одним із найважливіших реагентів виробництва є хлор, який використовується для переведення металеві міді в розчинні хлориди. За нормальних умов хлор являє собою газ жовто-зеленого кольору з різким задушливим запахом. Він належить до сильних окисників і характеризується високою хімічною активністю. У процесі виробництва хлор подається разом із повітрям у вигляді хлороповітряної суміші, що забезпечує рівномірний перебіг реакцій розчинення та окиснення міді.

Якість хлору безпосередньо впливає на швидкість утворення хлоридів міді та ступінь використання металу. Наявність сторонніх домішок або коливання

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

концентрації хлору можуть призводити до нестабільності технологічного режиму. Оскільки хлор є токсичною та корозійно-активною речовиною, його використання потребує герметизації обладнання, постійного контролю концентрації в робочій зоні та застосування автоматизованих систем аварійного захисту. Саме вузли подачі хлору належать до найбільш відповідальних ділянок виробництва з точки зору автоматизації та промислової безпеки.

Важливим компонентом технологічного процесу є повітря, яке використовується для приготування хлороповітряної суміші та забезпечення процесів окиснення. Повітря виконує не лише транспортну функцію, а й бере участь у підтриманні необхідних умов масообміну між газовою та рідкою фазами. Стабільність витрати повітря впливає на інтенсивність барботажу, ефективність розчинення хлору та рівномірність перебігу хімічних реакцій. Для підвищення ефективності процесу повітря перед подачею очищується від механічних домішок і, за необхідності, осушується.

Вода є одним із найважливіших допоміжних компонентів виробництва та використовується практично на всіх технологічних стадіях. Вона застосовується для грануляції розплавленої міді, приготування суспензій, охолодження циркуляційного розчину, промивання осаду та здійснення теплообмінних процесів. Якість води має істотне значення для забезпечення стабільності технологічного режиму. Підвищений вміст солей жорсткості, заліза або механічних домішок може призводити до утворення відкладень у теплообмінному обладнанні та змінювати склад технологічних розчинів. Тому у виробництві переважно використовують технічно підготовлену воду з контрольованими показниками якості.

Для осадження хлороксиду міді застосовується крейда, основним компонентом якої є карбонат кальцію (CaCO_3). Саме карбонат кальцію вступає у взаємодію з розчином хлориду міді та забезпечує утворення основної солі міді у вигляді осаду. Ефективність осадження значною мірою залежить від чистоти крейди, вмісту основної речовини та дисперсності частинок. Дрібнодисперсний карбонат кальцію характеризується більшою реакційною поверхнею, що сприяє

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищенню швидкості реакції та покращенню умов кристалізації продукту. Наявність у крейді глинистих включень, піску або інших мінеральних домішок може погіршувати якість хлороксиду міді та ускладнювати подальші стадії фільтрації.

Для надання готовому продукту необхідних технологічних властивостей до процесу вводять спеціальні функціональні добавки, серед яких важливу роль відіграють моносульфат і декстрин. Ці речовини додаються на стадії репульпації після первинного відокремлення осаду від маточного розчину.

Моносульфат використовується як поверхнево-активна речовина, що покращує змочуваність частинок препарату та сприяє його рівномірному розподілу під час приготування робочих розчинів. Наявність цієї добавки підвищує ефективність застосування препарату в сільському господарстві та покращує його споживчі властивості. Вміст моносульфату в готовому продукті зазвичай не перевищує 6 %.

Декстрин являє собою продукт часткового гідролізу крохмалю та використовується як зв'язувальна й стабілізуюча добавка. Його введення сприяє формуванню однорідної структури порошку, зменшує пилоутворення та покращує сипкість готового продукту. Крім того, декстрин забезпечує додаткову стабільність препарату під час транспортування та зберігання. Вміст декстрину в готовому хлороксиді міді зазвичай підтримується на рівні до 2 %.

Таким чином, усі компоненти сировинної бази виробництва виконують важливі технологічні функції та безпосередньо впливають на якість кінцевого продукту. Контроль витрати, складу та фізико-хімічних характеристик сировини є необхідною умовою стабільної роботи виробництва та одним із ключових завдань системи автоматизованого керування технологічним процесом.

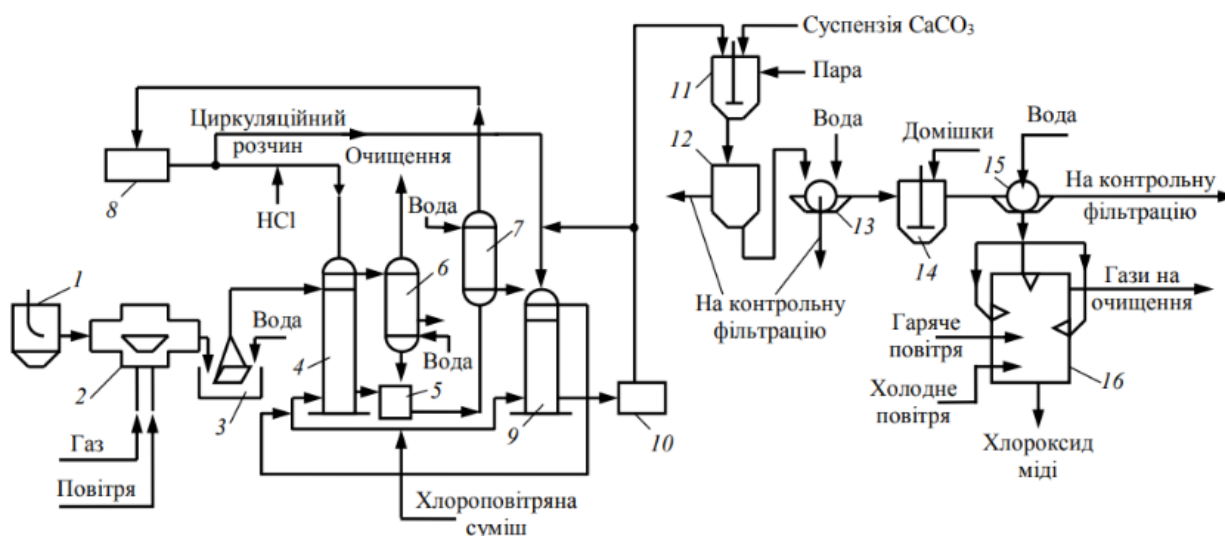
1.4 Опис технологічної схеми виробництва

Технологічний процес виробництва хлороксиду міді являє собою складний багатостадійний хіміко-технологічний процес, який включає підготовку мідної

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

сировини, її переведення у розчинний стан, окиснення сполук міді, осадження цільового продукту, його очищення, сушіння та підготовку до подальшого зберігання або фасування. Технологічна схема виробництва наведена на рисунку 1.1.[1]

Процес починається з підготовки мідної сировини. Пакети мідного лому за допомогою механічної лопати подаються до мідеплавильної печі. Піч являє собою тепловий агрегат ванного типу, футерований шамотною цеглою та укріплений металевим корпусом. Усередині печі підтримується температура близько 1200 °С, що забезпечує повне розплавлення мідного лому. Тривалість плавлення становить від 3,5 до 4 годин залежно від складу та кількості завантаженої сировини. На даній стадії відбувається перехід міді у рідкий стан та відокремлення частини механічних домішок.



1 – механічна лопата; 2 – піч для плавлення міді; 3 – грануляційний басейн; 4 – колона розчинення; 5, 8, 10 – збирачі; 6 – конденсатор; 7 – титановий холодильник; 9 – колона доокиснення; 11 – осаджувач (5 одиниць); 12 – загусник; 13, 15 – барабани вакуум-фільтри; 14 – репульпатор; 16 – розпилювальна сушарка

Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва хлороксиду міді

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Після завершення плавлення розплавлена мідь через зливний жолоб періодично надходить до грануляційного басейну, в який безперервно подається вода. Різке охолодження розплаву призводить до його дроблення на дрібні гранули, що характеризуються значною питомою поверхнею. Гранулювання є важливою стадією виробництва, оскільки збільшення площі контакту між металом і реагентами сприяє інтенсифікації подальших процесів розчинення та хлорування міді.

Отримані гранули накопичуються на піддоні грануляційного басейну та за допомогою вантажопідйомного обладнання подаються до верхньої частини колони розчинення. Одночасно до верхньої частини колони безперервно надходить циркуляційний розчин зі збирача циркуляційного контуру. У нижню частину колони вводиться хлороповітряна суміш, яка рухається назустріч потоку рідини та гранул міді. Завдяки такій організації процесу створюються сприятливі умови для інтенсивного масообміну між газовою, рідкою та твердою фазами.

У колоні розчинення відбуваються основні реакції взаємодії металевої міді з хлором. Внаслідок цих реакцій утворюються хлорид міді(I) Cu_2Cl_2 та хлорид міді(II) CuCl_2 . Для забезпечення стабільного перебігу процесу температура циркуляційного розчину підтримується в межах 70–90 °С. Необхідний температурний режим досягається завдяки безперервній циркуляції розчину через систему охолодження.

Утворений розчин хлоридів міді самопливом надходить до збирача. Характерне коричневе забарвлення розчину свідчить про наявність комплексних хлоридних сполук міді, які утворюються внаслідок взаємодії хлоридів міді з хлоридною кислотою та іншими компонентами середовища. Одночасно з рідким продуктом із колони розчинення відводяться водяна пара та дрібнодисперсні бризки розчину.

Для запобігання втратам цінних компонентів газопаровий потік спрямовується до конденсатора. У конденсаторі відбувається охолодження та конденсація водяної пари. Конденсат надходить до збирача, після чого насосом подається до титанового холодильника. Використання титану обумовлене високою

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

корозійною активністю хлоридного середовища. Після охолодження циркуляційний розчин повертається до збирача та повторно використовується у процесі розчинення міді.

Зі збирача циркуляційний розчин надходить до колони доокиснення. У нижню частину цієї колони також подається хлороповітряна суміш. Основним призначенням стадії доокиснення є переведення одновалентної міді у двовалентний стан. На цій стадії завершується окиснення хлориду міді(I) до хлориду міді(II), що є необхідною умовою подальшого осадження хлороксиду міді. Інтенсивність процесу визначається витратою хлороповітряної суміші, температурою та концентрацією сполук міді у розчині [2].

Розчин після колони доокиснення накопичується у збирачі. Частина розчину повертається до колони для підтримання необхідного режиму зрошення, а основний потік подається до осаджувача. Одночасно до осаджувача дозується суспензія крейди, яка містить карбонат кальцію. У результаті взаємодії хлориду міді з карбонатом кальцію відбувається утворення основного продукту – хлороксиду міді:



Реакція осадження супроводжується виділенням вуглекислого газу та утворенням дрібнодисперсної суспензії хлороксиду міді. Температура в осаджувачі підтримується в межах 55–75 °С, що забезпечує оптимальні умови кристалізації та високий ступінь осадження міді з розчину.

Отримана реакційна маса надходить до загусника-відстійника. У цьому апараті відбувається часткове розділення твердої та рідкої фаз за рахунок гравітаційного осадження частинок. У результаті згущення співвідношення рідкої та твердої фаз зменшується до 1,5–2,5 : 1. Освітлений розчин направляється на контрольну фільтрацію для додаткового вилучення дрібнодисперсних частинок продукту.

Згущений осад хлороксиду міді надходить на перший барабанний вакуум-фільтр, де здійснюється первинне відокремлення маточного розчину. Після цього продукт подається до репульпатора, в якому проводиться його промивання та

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

додаткова обробка. Репульпація забезпечує видалення залишків розчинних солей, насамперед хлориду кальцію, що утворився під час реакції осадження.

На стадії репульпації до суспензії дозуються функціональні добавки — моносульфат та декстрин. Моносульфат вводиться для покращення змочуваності та диспергованості готового препарату, тоді як декстрин виконує функцію стабілізуючої та зв'язувальної добавки. Вміст моносульфату в готовому продукті підтримується на рівні до 6 %, а вміст декстрину не повинен перевищувати 2 %.

Після репульпації продукт надходить на другий ступінь вакуум-фільтрації, де відбувається остаточне видалення рідкої фази. Фільтрати з обох ступенів фільтрації також спрямовуються на контрольну фільтрацію для максимального вилучення частинок хлороксиду міді та зниження втрат готового продукту.

Після завершення процесів промивання та фільтрації вологість осаду становить близько 45–50 %. Для отримання товарного продукту необхідно знизити цей показник до нормативного значення. З цією метою вологий хлороксид міді подається до розпилювальної сушарки.

У верхню частину сушарки подається гаряче повітря з температурою близько 360 °С, яке забезпечує інтенсивне випаровування вологи з поверхні частинок. Для запобігання перегріву продукту в нижню частину сушарки додатково подається охолоджене повітря. Режим роботи сушарки регулюється таким чином, щоб температура готового продукту на виході підтримувалася в межах 70–90 °С.

У процесі сушіння відбувається остаточне формування фізичних властивостей порошку та зниження його вологості до нормативного значення не більше 2 %. Отриманий хлороксид міді являє собою готовий продукт, який відповідає вимогам щодо вмісту основної речовини, вологості та технологічних характеристик і може бути направлений на фасування, зберігання та подальшу реалізацію.

Таким чином, виробництво хлороксиду міді являє собою безперервний багатостадійний процес, що поєднує високотемпературні, хімічні, масообмінні, фільтраційні та теплотехнічні операції. Стабільність роботи кожної стадії значною

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мірою визначає якість готового продукту, а тому потребує постійного контролю та автоматичного регулювання основних технологічних параметрів.

Для дипломної роботи цей підрозділ варто подати не як перелік апаратів, а як інженерний аналіз обладнання з акцентом на його функції, конструктивні особливості та параметри, що підлягають контролю й автоматизації.

1.5 Характеристика основного технологічного обладнання

Виробництво хлороксида міді здійснюється за допомогою комплексу технологічного обладнання, призначеного для виконання послідовних операцій плавлення сировини, розчинення міді, окиснення проміжних продуктів, осадження цільової сполуки, механічного зневоднення та сушіння готового продукту. Особливістю даного виробництва є поєднання високотемпературних, хімічних, масообмінних та тепломасообмінних процесів, що обумовлює підвищені вимоги до надійності обладнання та точності підтримання технологічних режимів.

Початковою ланкою технологічної схеми є мідеплавильна піч, призначена для плавлення мідного лому та підготовки сировини до подальшої переробки. Піч являє собою тепловий агрегат ванного типу, футерований вогнетривкою шамотною цеглою та укріплений зовнішнім металевим корпусом. Конструкція печі забезпечує тривалу роботу в умовах високих температур і значних теплових навантажень.

У процесі експлуатації температура в робочому просторі печі підтримується на рівні близько 1200 °С, що гарантує повне розплавлення мідного лому та отримання однорідного розплаву. Тривалість циклу плавлення становить у середньому від 3,5 до 4 годин. Для стабільної роботи печі необхідно здійснювати безперервний контроль температури розплаву, стану футерівки, витрати енергоресурсів та рівня металу у ванні. Відхилення температурного режиму може призводити до збільшення енергоспоживання, погіршення якості грануляції та зниження продуктивності виробництва.

Після плавлення мідь надходить до грануляційного басейну, який призначений для швидкого охолодження розплаву та отримання гранульованої

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сировини. Конструктивно басейн являє собою резервуар, обладнаний системою безперервної подачі води. Під час контакту розплавленої міді з водою відбувається її миттєве охолодження та подрібнення на окремі гранули [3].

Грануляція має важливе технологічне значення, оскільки дозволяє значно збільшити площу поверхні металу, що сприяє інтенсифікації наступних процесів розчинення та хлорування. Ефективність роботи грануляційного басейну залежить від температури охолоджувальної води, інтенсивності її циркуляції та рівномірності подачі розплаву. Основними контрольованими параметрами на даній стадії є температура води, її витрата та рівень у басейні.

Ключовим апаратом виробництва є колона розчинення, в якій здійснюється переведення металевої міді у розчинні хлоридні сполуки. До верхньої частини колони подаються гранули міді та циркуляційний розчин, а до нижньої частини вводиться хлороповітряна суміш. У результаті інтенсивного контакту між твердою, рідкою та газовою фазами відбувається утворення хлориду міді(I) та хлориду міді(II).

Колона працює в умовах безперервного масообміну та характеризується складними фізико-хімічними процесами. Для забезпечення стабільної роботи необхідно підтримувати температуру циркуляційного розчину в межах 70–90 °С. Зниження температури призводить до сповільнення швидкості реакцій, тоді як її надмірне підвищення викликає інтенсивне випаровування води та збільшення втрат реагентів.

Важливими технологічними параметрами колони розчинення є витрата хлороповітряної суміші, температура циркуляційного розчину, рівень рідини в апараті та концентрація хлоридів міді. Саме ці параметри підлягають безперервному контролю та автоматичному регулюванню.

Для уловлювання парів і бризок, що утворюються під час роботи колони розчинення, використовується конденсатор. Його призначення полягає у поверненні конденсату до технологічного циклу та зменшенні втрат розчину. Конденсат після збору проходить через холодильник, де відбувається його охолодження до

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідної температури. Особливістю холодильника є використання титанових теплообмінних поверхонь, що забезпечують високу корозійну стійкість в умовах хлоридного середовища.

Наступним важливим апаратом технологічної схеми є колона доокиснення. Її основне призначення полягає у завершенні процесів окиснення хлориду міді(I) до хлориду міді(II). Для цього в нижню частину колони безперервно подається хлороповітряна суміш. Саме на даній стадії формується необхідний склад технологічного розчину, який надалі використовується для осадження хлороксиду міді.

Ефективність роботи колони доокиснення визначається ступенем використання хлору та повнотою окиснення сполук міді. Контролю підлягають температура процесу, витрата хлороповітряної суміші, рівень розчину та концентрація іонів міді у циркуляційному контурі. Підтримання цих параметрів на заданому рівні забезпечує стабільність складу розчину та високу якість кінцевого продукту.

Центральним апаратом стадії синтезу є осаджувач, у якому відбувається утворення хлороксиду міді в результаті взаємодії розчину хлориду міді з суспензією крейди. Осаджувач являє собою реактор із системою перемішування, що забезпечує рівномірний розподіл реагентів у робочому об'ємі та запобігає осіданню твердої фази.

Процес осадження характеризується високою чутливістю до змін технологічного режиму. Для забезпечення максимального виходу продукту температура реакційної маси підтримується в межах 55–75 °С. Важливим параметром також є кислотність середовища, оскільки саме значення рН визначає повноту осадження міді та склад кінцевого продукту. Крім температури та рН, контролюються витрата суспензії карбонату кальцію, рівень пульпи в апараті та інтенсивність перемішування.

Після завершення реакції утворена суспензія надходить до загусника-відстійника. Даний апарат призначений для попереднього розділення твердої та

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рідкої фаз шляхом гравітаційного осадження частинок хлороксиду міді. У процесі згущення концентрація твердої фази підвищується, що дозволяє зменшити навантаження на наступні стадії фільтрації.

Для механічного зневоднення продукту використовуються барабанні вакуум-фільтри. Робота фільтрів базується на створенні перепаду тиску між поверхнею фільтрувального елемента та внутрішньою порожниною барабана. Під дією вакууму рідка фаза проходить крізь фільтрувальну перегородку, тоді як тверді частинки осідають на її поверхні у вигляді фільтраційного осаду.

Фільтраційне обладнання забезпечує відділення маточного розчину, промивання осаду та його часткове зневоднення. До основних параметрів, що контролюються під час роботи вакуум-фільтрів, належать рівень вакууму, швидкість обертання барабана, товщина шару осаду та вологість продукту після фільтрації.

Окрему роль у технологічній схемі відіграє репульпатор, у якому здійснюється промивання осаду та введення функціональних добавок. Саме в цьому апараті до хлороксиду міді додаються моноссульфанат і декстрин, що покращують фізико-хімічні властивості готового препарату. Для забезпечення рівномірного розподілу добавок необхідно контролювати витрати компонентів, концентрацію суспензії та режим перемішування.

Завершальною стадією виробництва є сушіння продукту в розпилювальній сушарці. Даний апарат призначений для видалення залишкової вологи з осаду хлороксиду міді та отримання товарного порошкоподібного продукту. Принцип роботи сушарки ґрунтується на контакті диспергованих частинок суспензії з потоком гарячого повітря.

У верхню частину сушарки подається теплоносій з температурою близько 360 °С, що забезпечує інтенсивне випаровування вологи. Для запобігання перегріву продукту в нижню частину апарата подається повітря з нижчою температурою. Режим сушіння підтримується таким чином, щоб температура готового продукту на виході перебувала в межах 70–90 °С, а його кінцева вологість не перевищувала 2 %.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найважливішими параметрами розпилювальної сушарки є температура вхідного теплоносія, температура відхідного повітря, витрата сушильного агента, продуктивність подачі суспензії та залишкова вологість продукту. Контроль цих параметрів безпосередньо впливає на якість хлороксиду міді, його сипкість, стабільність під час зберігання та відповідність вимогам нормативної документації.

Таким чином, технологічне обладнання виробництва хлороксиду міді утворює єдиний взаємопов'язаний комплекс апаратів, робота якого залежить від точного дотримання технологічних режимів. Більшість апаратів працюють у безперервному режимі та характеризуються значною кількістю контрольованих параметрів, що обумовлює необхідність застосування сучасних засобів автоматичного контролю, регулювання та диспетчерського керування технологічним процесом.

1.6 Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації

Процес виробництва хлороксиду міді характеризується багатостадійністю, наявністю значної кількості матеріальних потоків та необхідністю підтримання суворо визначених технологічних параметрів.

До основних контрольованих параметрів належать:

- температура в печі;
- температура циркуляційного розчину;
- рівень у збірниках;
- концентрація хлоридів міді;
- витрата хлору;
- витрата повітря;
- витрата крейдяної суспензії;
- рН середовища в осаджувачі;
- температура сушіння;
- вологість готового продукту.

До регульованих параметрів належать:

- подача хлору;

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- подача повітря;
- подача охолоджувальної води;
- подача крейдяної суспензії;
- температура сушильного агента;
- швидкість роботи насосів.

Особливу увагу необхідно приділити контролю концентрації хлору та тиску в апаратах, оскільки хлор є токсичною речовиною і становить підвищену небезпеку для персоналу та навколишнього середовища.

Висновки до розділу 1

У розділі розглянуто технологію виробництва хлороксиду міді, наведено фізико-хімічні основи процесу, характеристику сировини, опис основного обладнання та аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації. Встановлено, що найбільш важливими параметрами для автоматичного контролю та регулювання є температура, витрата реагентів, рівень у технологічних апаратах, концентрація хлоридів міді, рН середовища та вологість готового продукту. Отримані результати є основою для розроблення системи автоматизації, вибору засобів вимірювання, регулювання та побудови функціональної схеми автоматизації у наступних розділах роботи.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВИГОТОВЛЕННЯ ХЛОРОКСИДУ МІДІ

2.1 Матеріальні та енергетичні потоки виробництва

Технологічний процес виробництва хлороксиду міді характеризується безперервним рухом значної кількості матеріальних та енергетичних потоків, взаємодія яких забезпечує протікання фізико-хімічних процесів і отримання готового продукту необхідної якості. Аналіз матеріальних та енергетичних потоків є важливим етапом дослідження технологічного процесу, оскільки дозволяє визначити основні параметри керування, оцінити ефективність використання сировини та енергії, а також обґрунтувати вибір засобів автоматизації.

Основною сировиною виробництва є мідний лом, який надходить до плавильної печі для подальшого розплавлення та участі в хімічних реакціях. У процесі роботи установки також використовується хлор, який є одним із головних реагентів та бере безпосередню участь в утворенні хлорвмісних сполук міді. Для забезпечення необхідних умов горіння до печі подається повітря, яке підтримує процес окиснення та сприяє стабільному тепловому режиму. Важливу роль у технологічному циклі відіграє вода, яка використовується для охолодження окремих вузлів обладнання, приготування допоміжних розчинів та забезпечення роботи систем очищення газів.

У виробничому процесі також циркулює циркуляційний розчин, що забезпечує перенесення реагентів та продуктів реакції між окремими стадіями технологічного циклу. Для нейтралізації побічних продуктів і регулювання кислотності середовища використовується суспензія крейди. Результатом технологічного процесу є утворення осаду хлороксиду міді, який після відповідної обробки направляється на подальші стадії сушіння та фасування. Одночасно з цим у процесі утворюються відпрацьовані гази, які містять продукти реакцій та потребують очищення перед викидом в атмосферу відповідно до екологічних вимог.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функціонування технологічної установки супроводжується значними потоками теплової енергії. Одним із основних енергетичних потоків є теплота, що витрачається на плавлення мідного лому в плавильній печі. Для забезпечення переходу металу з твердого стану в рідкий необхідно підтримувати високотемпературний режим, що обумовлює значні витрати палива та теплової енергії. Додатковим джерелом тепловиділення є екзотермічні реакції хлорування, які супроводжуються виділенням значної кількості теплоти та впливають на загальний тепловий баланс установки.

На завершальних стадіях виробництва важливим енергетичним процесом є сушіння готового продукту, під час якого відбувається видалення залишкової вологи з осаду хлороксиду міді. Для забезпечення необхідних температурних умов використовується тепла енергія, яка повинна подаватися рівномірно та контролюватися. Водночас для підтримання оптимального температурного режиму окремих апаратів та циркуляційних контурів застосовуються холодоносії, що забезпечують відведення надлишкової теплоти та запобігають перегріванню обладнання.

З метою підвищення енергетичної ефективності виробництва передбачено використання циркуляційних систем охолодження, які дозволяють багаторазово використовувати охолоджувальне середовище та зменшувати витрати водних ресурсів. Додатково застосовуються системи рекуперації теплоти, що забезпечують повернення частини теплової енергії від гарячих технологічних потоків до процесу. Реалізація таких рішень дозволяє знизити загальне енергоспоживання установки, підвищити економічність виробництва та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

2.2 Матеріальний та тепловий баланс плавильної печі

Виробництво хлороксиду міді починається зі стадії плавлення мідного лому в мідеплавильній печі. Піч являє собою ванний тепловий агрегат, футерований

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

шамотною вогнетривкою цеглою та оснащений системою подачі енергоносія. Робоча температура процесу становить близько 1200 °С, що забезпечує повне розплавлення мідного лому та утворення однорідного металевого розплаву, придатного для подальшої грануляції та хлорування.

Тривалість одного циклу плавлення становить 3,5–4 години. Ефективність роботи печі значною мірою визначається стабільністю температурного режиму, рівнем розплаву у ванні та питомими витратами енергії. Недостатня температура призводить до неповного плавлення металу, а надмірна – до збільшення теплових втрат та перевитрати енергоресурсів.

Після завершення плавлення розплавлена мідь періодично зливається у грануляційний басейн, де контактує з водою та швидко охолоджується. У результаті утворюються гранули міді з розвиненою поверхнею, що забезпечує інтенсифікацію подальших процесів розчинення та хлорування.

Матеріальний баланс плавильної печі базується на законі збереження маси, згідно з яким загальна маса речовин, що надходять до системи, дорівнює загальній масі речовин, які виходять із системи та накопичуються в ній:

$$\sum M_{\{вх\}} = \sum M_{\{вих\}} + \sum M_{\{втр\}}. \quad (2.1)$$

Для стадії плавлення основними матеріальними потоками є мідний лом, що надходить до печі, розплавлена мідь, яка відводиться на грануляцію, а також втрати металу, пов'язані з утворенням окалини, пилу та шлакових включень.

Матеріальний баланс печі може бути записаний у вигляді:

$$M_{\{лому\}} = M_{\{розплаву\}} + M_{\{втрат\}}, \quad (2.2)$$

де:

$M_{\{лому\}}$ – маса мідного лому, що надходить до печі, кг/год;

$M_{\{розплаву\}}$ – маса розплавленої міді, що виводиться з печі, кг/год;

$M_{\{втрат\}}$ – втрати міді у вигляді шлаку, пилу та оксидів, кг/год.

Для підвищення економічності виробництва необхідно забезпечувати мінімальні втрати міді, оскільки навіть незначне їх збільшення призводить до суттєвого зростання собівартості готового продукту.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Тепловий баланс характеризує розподіл теплоти, що підводиться до печі, між корисними витратами на нагрівання та плавлення металу і тепловими втратами в навколишнє середовище.

Загальне рівняння теплового балансу має вигляд:

$$Q_{\text{підв}} = Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{плав}} + Q_{\text{втр}}, \quad (2.3)$$

де:

$Q_{\text{підв}}$ – теплота, що надходить до печі від спалювання палива або електронагрівачів, кДж/год;

$Q_{\text{нагр}}$ – теплота, витрачена на нагрівання мідного лому від початкової температури до температури плавлення, кДж/год;

$Q_{\text{плав}}$ – теплота плавлення міді, кДж/год;

$Q_{\text{втр}}$ – сумарні теплові втрати, кДж/год.

Теплота нагрівання металу визначається залежністю:

$$Q_{\text{нагр}} = G \cdot c \cdot (t_{\text{пл}} - t_{\text{поч}}), \quad (2.4)$$

де:

G – масова витрата міді, кг/год;

c – середня питома теплоємність міді, кДж/(кг·°C);

$t_{\text{поч}}$ – початкова температура металу, °C;

$t_{\text{пл}}$ – температура плавлення міді, °C.

Теплота плавлення становить:

$$Q_{\text{плав}} = G \cdot r, \quad (2.5)$$

де r – питома теплота плавлення міді, кДж/кг.

Основними складовими теплових втрат є втрати через футерівку печі, втрати з димовими газами, втрати під час випромінювання через завантажувальні отвори та втрати при випуску розплаву. Підвищення ефективності роботи печі досягається за рахунок якісної теплоізоляції футерівки, оптимізації режиму горіння палива, зменшення тривалості плавлення та застосування автоматичного регулювання температури. Система автоматизації дозволяє підтримувати температуру плавлення

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

на заданому рівні, знижувати питомі витрати енергії та забезпечувати стабільність подальших стадій виробництва хлороксиду міді.

2.3 Статичні характеристики плавильної печі як об'єкта керування

Важливою особливістю плавильної печі є значна теплова інерційність. Після зміни положення регулюючого клапана температура змінюється не миттєво, а через певний проміжок часу. Наявність транспортного запізнення та великої постійної часу об'єкта впливає на динамічні характеристики системи керування та повинна враховуватись під час синтезу регулятора. З точки зору теорії автоматичного керування плавильну піч можна розглядати як аперіодичну ланку із запізненням. Загальна передатна функція такого об'єкта має вигляд:

$$W(s) = \frac{K_{об}}{Ts+1} \cdot e^{-\tau s}, \quad (2.6)$$

де:

$K_{об}$ – коефіцієнт передачі об'єкта;

T – постійна часу печі;

τ – час транспортного запізнення.

Однак під час розроблення математичної моделі та виконання подальших розрахунків для спрощення аналізу динамічних характеристик системи транспортним запізненням нехтують. Таке припущення є допустимим на етапі синтезу системи автоматичного керування, оскільки основний вплив на поведінку об'єкта визначається його значною тепловою інерційністю. У цьому випадку плавильна піч розглядається як аперіодична ланка другого порядку без запізнення, а її передатна функція приймається у вигляді:

$$W(s) = \frac{K_{об}}{(T_1s+1)(T_2s+1)}, \quad (2.7)$$

або відповідно до отриманої експериментальної моделі:

$$W(s) = \frac{7}{341018s^2 + 812s + 1}. \quad (2.8)$$

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Прийняте спрощення дозволяє суттєво зменшити складність математичного опису об'єкта та виконати аналіз стійкості і синтез регулятора стандартними методами без істотної втрати точності результатів для інженерних розрахунків.

2.4. Синтез системи автоматичного регулювання температури в печі

Регульованим параметром технологічного процесу є температура у різних зонах печі, контроль якої здійснюється шляхом зміни витрати палива. Зміна витрати палива реалізується через регулювання відсотка відкриття топливного клапана, що безпосередньо впливає на подачу природного газу або іншого пального агента до печі. У промислових автоматизованих системах керування (АСР), для управління об'єктами зі властивістю самовирівнювання, незалежно від їх динамічних характеристик, зазвичай застосовують регулятори з класичним ПІ-алгоритмом (пропорційно-інтегральним).

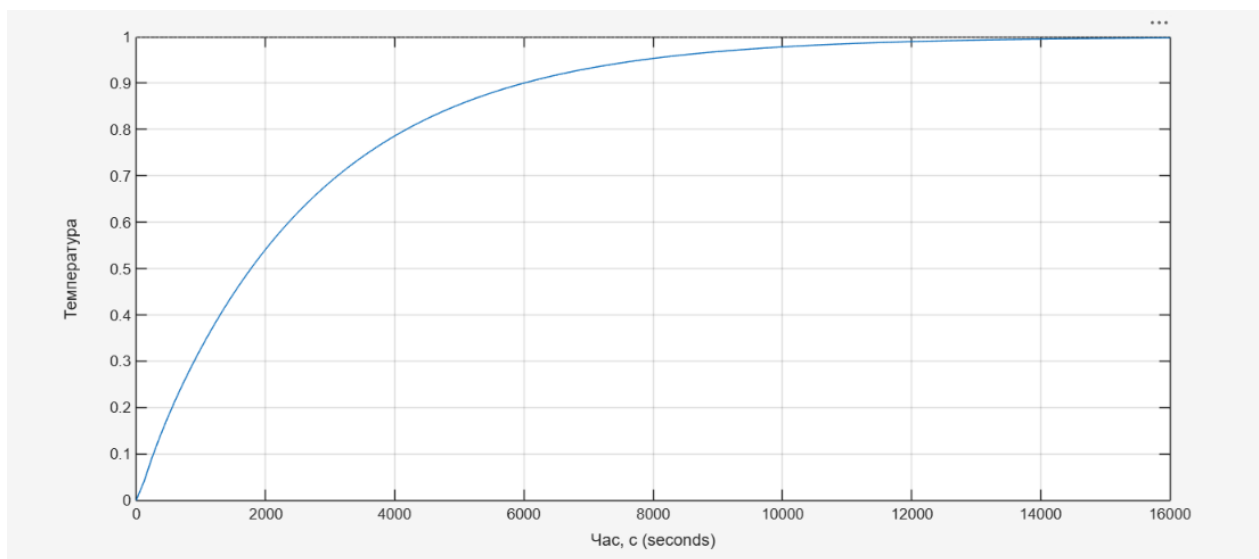


Рисунок 2.1 – Зміна температури у печі для плавлення міді

Такий підхід забезпечує досить високу якість регулювання та більшу стійкість системи до зовнішніх збурень, у порівнянні з більш складними алгоритмами, особливо тими, які включають диференційні складові. Виключення

диференціальної частини робить систему менш чутливою до шумів та різких змін сигналу, що характерно для промислових умов.

Передаточна функція об'єкта по каналу, що пов'язує відсоток відкриття паливного клапана з витратою природного газу, має наступний вигляд:

$$W(p) = \frac{70}{1.1p^2 + 1.8p + 1}. \quad (2.9)$$

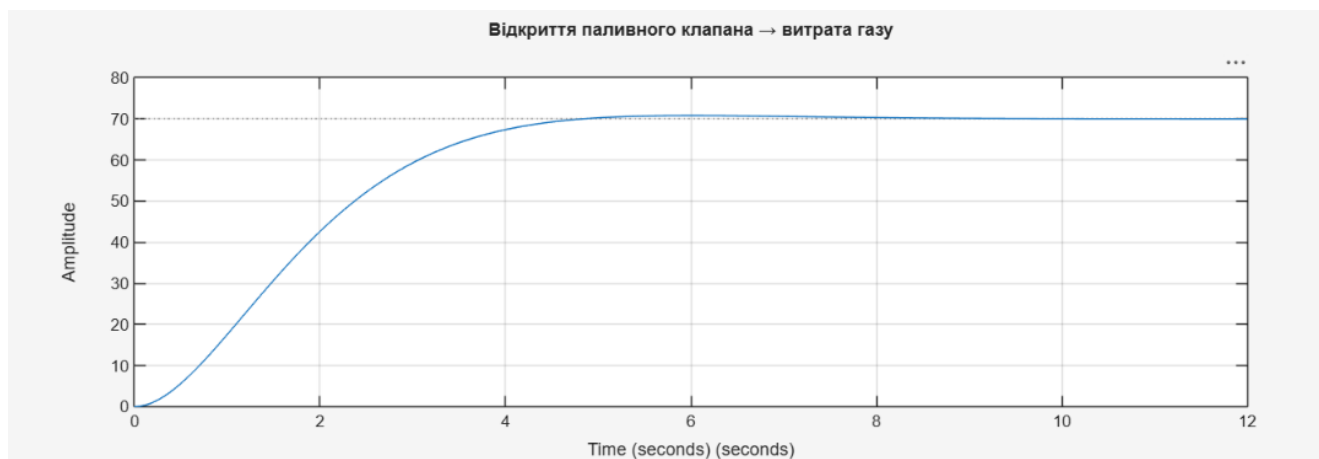


Рисунок 2.2 – Передатна функція об'єкта по каналу «витрата природного газу – температура продукту в зоні печі»

Передатна функція об'єкта по каналу «витрата природного газу – температура продукту в зоні печі» описує динамічну залежність між зміною витрати палива та відповідною зміною температури продукту у визначеній зоні печі. Ця функція відображає те, як швидко і з якою якістю реагує система на керуючий вплив, зокрема, на зміну подачі природного газу.

Залежність температури від витрати газу є ключовим елементом для розробки ефективної системи автоматичного керування, оскільки саме вона задає часові затримки, ступінь реакції об'єкта та характер переходу між станами. Для точного регулювання температурного режиму печі застосовується математичне моделювання за допомогою передаточної функції, яка дозволяє прогнозувати реакцію системи на зміни керуючого сигналу:

$$W(p) = \frac{7}{341018p^2 + 812p + 1}. \quad (2.10)$$

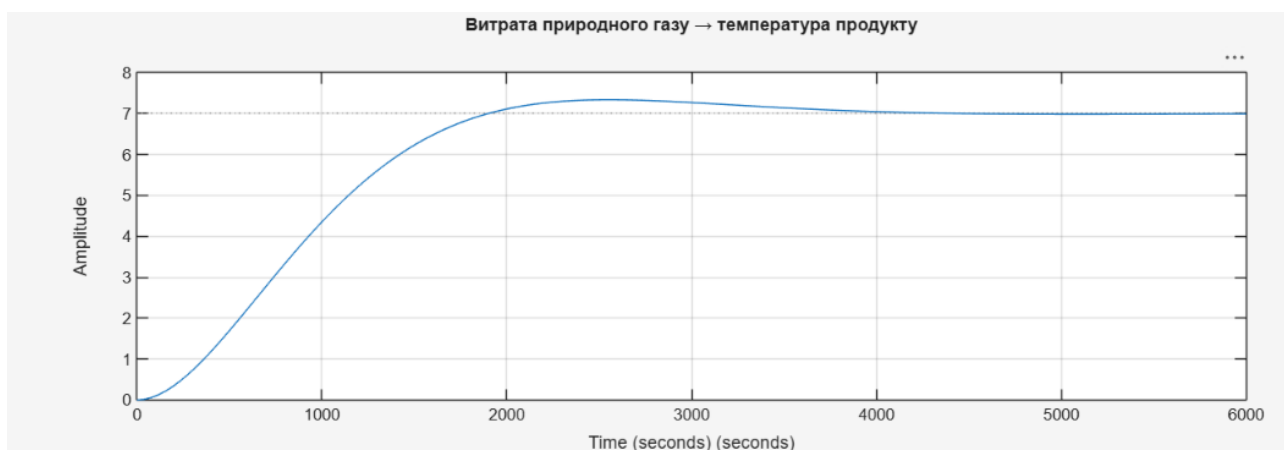


Рисунок 2.3 – Передатна функція об’єкта по каналу «витрата кисню – температура продукту в зоні печі»

Передатна функція об’єкта по каналу «витрата кисню – температура продукту в зоні печі» характеризує динамічний зв’язок між зміною подачі кисню та відповідною зміною температури продукту у визначеній зоні печі. Кисень є важливим компонентом процесу горіння, і його витрата безпосередньо впливає на інтенсивність горіння палива, а отже, і на тепловий режим печі.

Ця функція моделює, як зміна обсягу кисню, що надходить до зони горіння, позначається на температурі оброблюваного продукту, враховуючи часові затримки та характер переходу системи у новий стан після зміни керуючого параметра. Аналіз її форми дозволяє окреслити часові характеристики реакції системи, такі як час встановлення, запізнення та швидкість перегляду температури.

$$W(p) = \frac{16}{5p+1}. \quad (2.11)$$

Виходячи з отриманих моделей та передаточних функцій, можна побудувати структурну схему системи в середовищі Matlab Simulink. Така схема дозволить наочно змодельовати динамічну поведінку об’єкта керування, враховуючи вплив змін витрати кисню чи палива на температуру продукту в зоні печі.

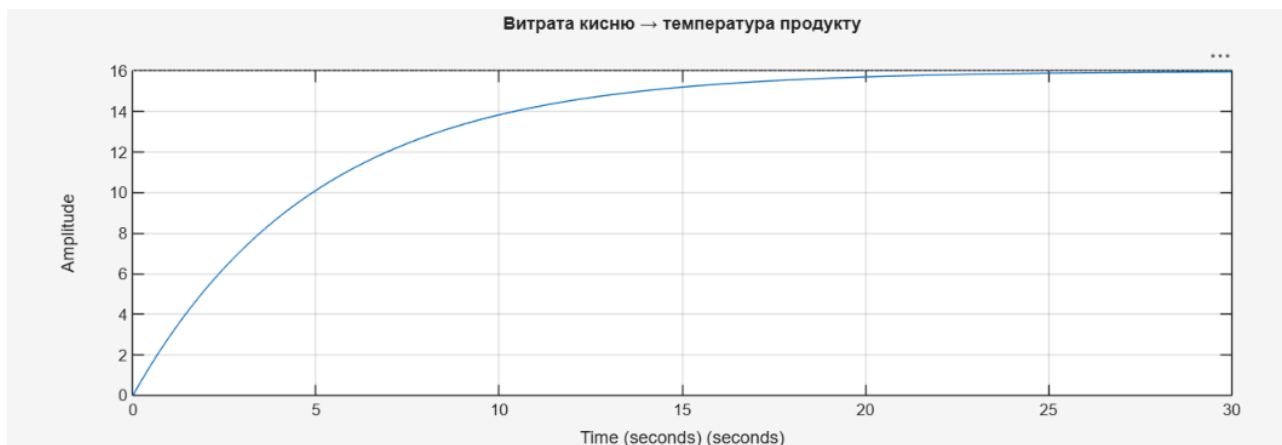


Рисунок 2.4 – Передатна функція об’єкта по каналу «витрата кисню – температура продукту в зоні печі»

Реалізація системи в Simulink дає можливість провести детальний аналіз роботи регуляторів, налаштувати параметри ПІ-закону керування, а також оцінити якість підтримання заданого температурного режиму під час дії зовнішніх збурень чи зміни умов процесу.

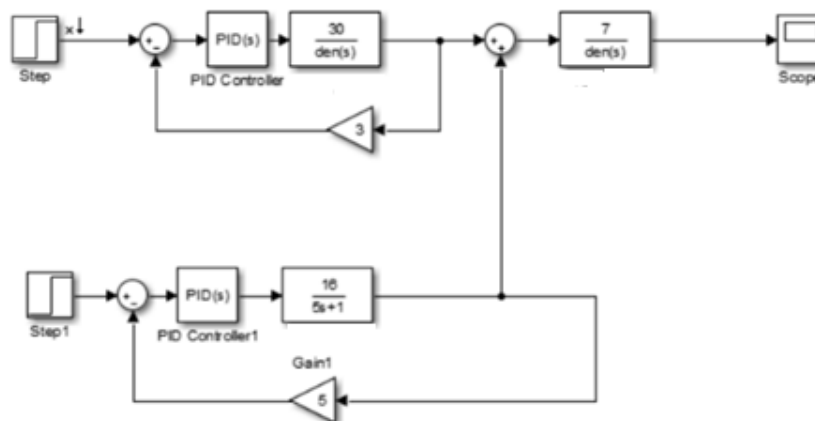


Рисунок 2.5 – Структурну схему системи в середовищі Matlab Simulink

Система складається з двох основних підсистем. Перша підсистема відповідає за керування по ланцюгу «регулювання подачі газу – температура в печі», тоді як

друга реалізує ланцюг «регулювання подачі кисню – температура в печі». Для кожного з цих ланцюгів передбачено використання окремого ПІД-регулятора, що дозволяє індивідуально налаштовувати параметри управління відповідно до особливостей процесу.

Під час налаштування ПІД-регулятора в газовій частині системи були визначені оптимальні параметри, які забезпечують стабільний температурний режим та високу якість регулювання при мінімізації коливань і швидкому відновленні заданих значень.

Отримані під час налаштування параметри ПІД-регулятора газового каналу включають:

Proportional (P):	0.0167932276372551
Integral (I):	1.7082870730752e-05
Derivative (D):	3.3079810926832

Рисунок 2.6 – Параметри ПІД-регулятора газового каналу

У процесі налаштування ПІД-регулятора для кисневої частини системи були визначені оптимальні параметри, які забезпечують ефективне регулювання температури в печі, з урахуванням динамічних особливостей подачі кисню. Ці параметри дозволяють досягти стабільної роботи системи, мінімізуючи відхилення температури від заданого значення та підвищуючи стійкість до зовнішніх збурень.

Отримані значення параметрів ПІД-регулятора для каналу подачі кисню включають:

Proportional (P):	0.0167197539224388
Integral (I):	0.00668388116609814
Derivative (D):	-0.00303599322560499

Рисунок 2.7 – Параметр ПІД-регулятора для каналу подачі кисню

Отже, припущення про те, що для регулювання температури печей найбільш ефективним буде використання ПІ-регулятора, не підтверджується на практиці.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Аналіз результатів показав, що у деяких випадках використання лише пропорційно-інтегрального алгоритму не забезпечує необхідну якість керування та стабільність температурного режиму. Можливо, для певних умов роботи печі потрібне застосування більш складних регуляторів, що включають, наприклад, диференціальну складову або додаткові адаптивні функції.

Це свідчить про те, що вибір структури регулятора має базуватися на глибокому аналізі конкретного технологічного процесу та його динамічних характеристик, а не тільки на загальних припущеннях.

На рисунку 2.8 представлено графік перехідного процесу в системі. З аналізу графіка видно, що час встановлення переходу складає 771 секунду, що є цілком адекватним значенням для систем такого типу з урахуванням їхніх технологічних особливостей. Таке тривале часове затримання може бути зумовлене фізичними властивостями об'єкта керування і характером процесу теплопередачі в печі.

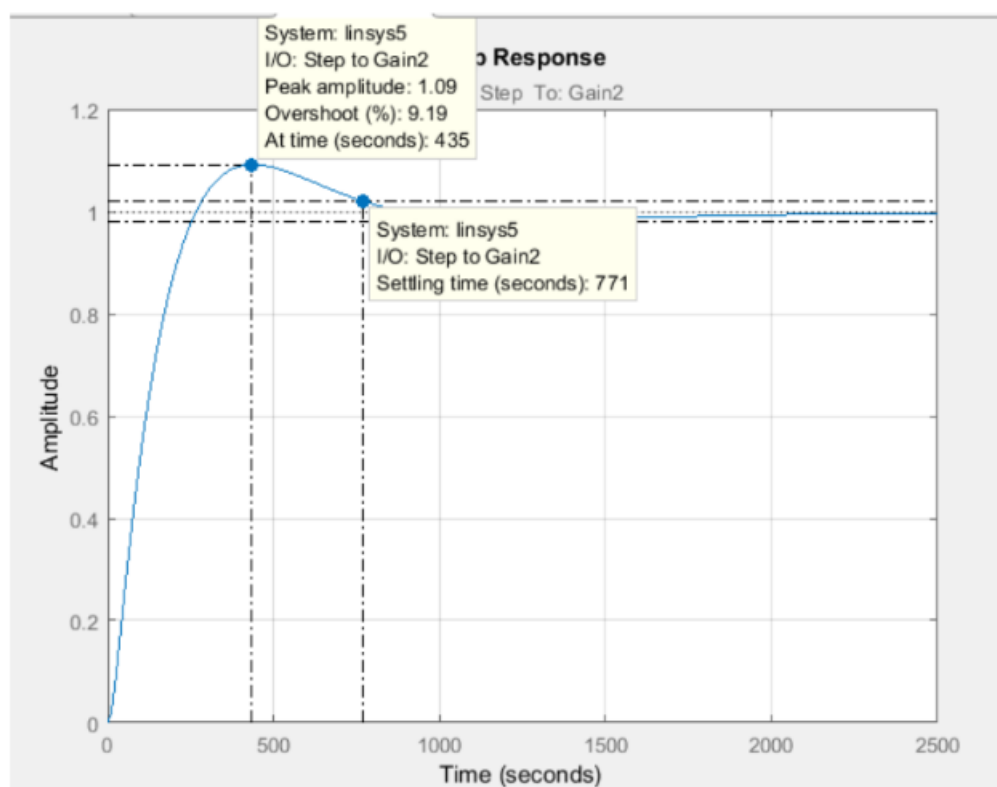


Рисунок 2.8 – Графік перехідного процесу

Перерегулювання системи становить 9%, що свідчить про незначне перевищення заданого рівня температури в процесі переходу до нового стійкого стану. Цей показник вказує на прийнятний рівень коливань, які не перевищують безпечних меж для технологічного процесу.

В цілому, отримані характеристики перехідного процесу підтверджують ефективність обраної моделі системи керування та її здатність підтримувати необхідний температурний режим із задовільною точністю і стабільністю.

Висновки до розділу 2

У даному розділі виконано дослідження плавильної печі як основного об'єкта автоматизації процесу виробництва хлороксиду міді та розроблено систему автоматичного регулювання її температурного режиму.

Проведений аналіз матеріальних та енергетичних потоків виробництва дозволив визначити основні потоки сировини, енергоносіїв і проміжних продуктів, що циркулюють у технологічній схемі. Встановлено, що найбільші витрати енергії припадають на стадію плавлення мідного лому, яка є однією з найбільш енергоємних операцій технологічного процесу. Визначення структури матеріальних та енергетичних потоків дозволило виділити параметри, які мають вирішальний вплив на ефективність роботи виробництва та підлягають автоматичному контролю.

На основі законів збереження маси та енергії складено матеріальний і тепловий баланси плавильної печі. Встановлено взаємозв'язок між витратами мідного лому, кількістю отриманого розплаву та технологічними втратами. Аналіз теплового балансу показав, що основна частина підведеної теплоти витрачається на нагрівання та плавлення міді, тоді як решта становить теплові втрати через футерівку, димові гази та випромінювання. Отримані результати підтвердили необхідність точного підтримання температурного режиму для підвищення енергоефективності процесу.

У ході дослідження статичних характеристик плавильної печі встановлено, що між витратою палива та температурою розплаву існує стійка функціональна

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залежність, яка в робочому діапазоні може бути апроксимована лінійною характеристикою. Аналіз об'єкта показав наявність значної теплової інерційності та самовирівнювання, що характерно для більшості теплотехнічних установок. Для спрощення математичного опису під час синтезу системи керування транспортним запізненням було знехтувано, а об'єкт представлено передатною функцією другого порядку без запізнення, що є допустимим для інженерних розрахунків і подальшого аналізу стійкості.

На основі отриманих математичних моделей виконано синтез системи автоматичного регулювання температури плавильної печі. Як керуючий вплив прийнято витрату природного газу, що подається до пальникового пристрою. Для підтримання заданого температурного режиму запропоновано використання мікропроцесорного регулятора з ПІД-законом регулювання. Проведений аналіз динамічних характеристик показав, що розроблена система забезпечує стійку роботу, прийнятну швидкодію та допустиме перерегулювання під час відпрацювання керуючих впливів і зовнішніх збурень.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК

3.1 Розроблення функціональної схеми

Функціональна структура системи керування будується за принципом локальних контурів автоматичного регулювання, об'єднаних єдиною системою диспетчерського контролю.

Функціональна схема автоматизації плавильної печі передбачає реалізацію контуру автоматичного регулювання температури та контуру регулювання співвідношення витрат газу і повітря, що забезпечують стабільний тепловий режим плавлення мідного лому.

Основним контуром є контур автоматичного регулювання температури печі. Контроль температури здійснюється термоперетворювачем температури ТЕ 1-1, встановленим у робочому просторі печі. Вимірний сигнал надходить на мікропроцесорний регулятор ТІСА 1-2, розташований на щиті керування. Регулятор порівнює поточне значення температури із заданим значенням та формує керуючий сигнал на виконавчий механізм регулюючого клапана 1-3, встановленого на лінії подачі природного газу.

Зміна ступеня відкриття клапана 1-3 призводить до відповідної зміни витрати газу, що надходить до пальникового пристрою печі. Таким чином реалізується замкнений контур автоматичного регулювання температури. При зниженні температури нижче заданого значення регулятор збільшує подачу газу, а при перевищенні температури — зменшує її. Це забезпечує підтримання температури плавлення на рівні близько 1200 °С та стабільність технологічного процесу.

Для контролю режиму горіння в системі передбачено вимірювання витрати природного газу та повітря. Витрата газу контролюється витратоміром FE 2-1, а витрата повітря — витратоміром FE 3-1. Сигнали від цих приладів надходять до регулятора співвідношення FFIC 2-3, який підтримує необхідне співвідношення між потоками газу та повітря.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Регулятор FFIC 2-3 формує керуючий сигнал на виконавчий механізм регулюючого клапана 2-4, встановленого на лінії подачі повітря. Зміна положення клапана дозволяє автоматично коригувати кількість повітря, що подається до печі, забезпечуючи оптимальний коефіцієнт надлишку повітря та повне згоряння палива.

Для ручного керування та налагодження системи передбачені кнопкові пости KB1 і KB2, а також виконавчі механізми МП1 і МП2. Вони використовуються під час пусконаладжувальних робіт, переведення системи в ручний режим та проведення технічного обслуговування обладнання.

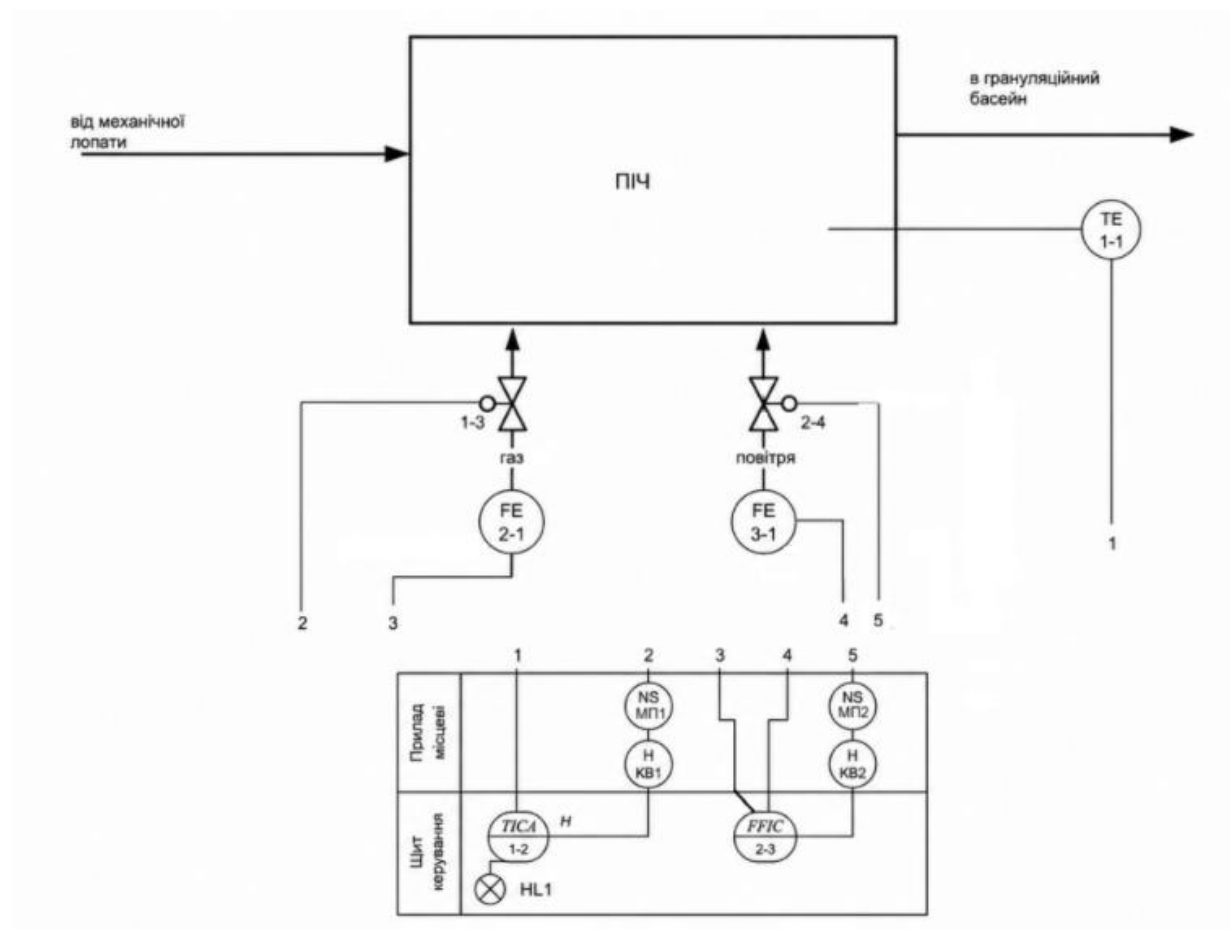


Рисунок 3.1 – Функціональна схема автоматизації

Світлова сигналізація HL1 призначена для інформування оператора про аварійні відхилення температури від допустимих меж. При виникненні аварійної ситуації регулятор формує сигнал тривоги, що дозволяє оперативно вжити заходів для запобігання порушенню технологічного режиму.

Реалізація зазначених контурів автоматизації забезпечує стабільність температурного режиму плавлення міді, зниження питомих витрат палива, підвищення ефективності процесу горіння та покращення якості підготовки сировини для подальших стадій виробництва хлороксиду міді.

3.2 Вибір технічних засобів автоматизації

Ефективність функціонування сучасних автоматизованих систем керування технологічними процесами значною мірою визначається правильністю вибору технічних засобів автоматизації. Від характеристик засобів вимірювання, регулювання та керування залежить точність підтримання технологічних параметрів, надійність роботи обладнання, енергоефективність виробництва та якість готової продукції.

Процес виробництва хлороксиду міді характеризується високими вимогами до стабільності температурного режиму плавильної печі, оскільки від температури безпосередньо залежать швидкість перебігу фізико-хімічних процесів, якість отриманого продукту та енергетичні витрати виробництва. Для забезпечення необхідної точності керування виникає потреба у використанні сучасних технічних засобів автоматизації, здатних працювати в умовах підвищених температур, електромагнітних завад та значних динамічних навантажень.

Під час вибору технічних засобів автоматизації враховуються основні характеристики технологічного процесу, зокрема діапазон зміни контрольованих параметрів, необхідна точність вимірювання, швидкодія системи керування, умови експлуатації обладнання та вимоги до інтеграції з автоматизованою системою керування технологічним процесом. Особлива увага приділяється забезпеченню сумісності між окремими елементами системи, а також можливості їхнього об'єднання в єдиний інформаційний простір.

Типова структура автоматизованої системи керування плавильною піччю включає первинні вимірювальні перетворювачі, нормувальні перетворювачі

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сигналів, мікропроцесорні регулятори, програмовані логічні контролери та виконавчі механізми. Первинні перетворювачі здійснюють безпосереднє вимірювання технологічних параметрів і перетворення їх у електричні сигнали. Нормувальні перетворювачі забезпечують узгодження сигналів датчиків із вхідними каналами системи керування. Регулятори виконують обробку інформації та формують керуючі впливи відповідно до заданого алгоритму регулювання. Виконавчі механізми реалізують безпосередній вплив на технологічний процес шляхом зміни витрати палива, повітря або інших робочих середовищ.

Для реалізації контуру автоматичного регулювання температури було обрано сучасні засоби вимірювання, регулювання та виконавчі механізми провідних світових виробників. Вимірювання температури в печі здійснюється за допомогою термоперетворювача Siemens SITRANS TS500, який характеризується високою точністю, стабільністю показів та надійністю роботи в складних промислових умовах. Сигнал від датчика надходить до нормувального перетворювача НПМ-11, де здійснюється його перетворення в уніфікований струмовий сигнал стандарту 4–20 мА для подальшої передачі до регулятора.

Функції автоматичного регулювання температури виконує багатоканальний мікропроцесорний регулятор МІКРОЛ МТР-8. Прилад забезпечує вимірювання технологічних параметрів, реалізацію ПІД-алгоритму регулювання, формування керуючого сигналу та передачу інформації до верхнього рівня автоматизованої системи керування. Використання мікропроцесорного регулятора дозволяє забезпечити високу точність підтримання температурного режиму та оперативне реагування на зміни умов технологічного процесу.

Виконавчий контур системи побудовано на базі регулюючого клапана Samson 3241 з цифровим електропневматичним позиціонером Samson 3730-3. Така комбінація забезпечує плавне регулювання подачі паливно-повітряної суміші до пальника печі відповідно до команд регулятора. Використання позиціонера дозволяє підвищити точність позиціонування клапана, зменшити вплив зовнішніх збурень та покращити динамічні характеристики системи регулювання.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Для контролю витрати природного газу та повітря передбачено встановлення вихрових витратомірів Endress+Hauser Prowirl F 200. Застосування цих приладів забезпечує високу точність вимірювання витрати газоподібних середовищ, широкий діапазон вимірювання та стійкість до змін параметрів робочого середовища. Отримана інформація використовується для контролю співвідношення «газ–повітря» та підвищення ефективності процесу горіння.

Керування допоміжними механізмами здійснюється за допомогою багатообертових електроприводів AUMA SA 07.6, які забезпечують дистанційне керування запірною та регулюючою арматурою. Для ручного керування обладнанням і формування команд оператора використовуються кнопкові пости Schneider Electric Harmony XB4-BS542. Комутація силових кіл електроприводів виконується реверсивними магнітними пускачами Schneider Electric TeSys D LC1D09, що забезпечують надійне керування електродвигунами та можливість зміни напрямку їх обертання.

Обраний комплекс технічних засобів повністю відповідає вимогам технологічного процесу виробництва хлороксиду міді та забезпечує побудову сучасної автоматизованої системи керування плавильною піччю. Використання промислових приладів провідних виробників дозволяє підвищити точність регулювання температури, покращити якість продукції, знизити енерговитрати та забезпечити надійну експлуатацію технологічного обладнання.

3.2.1 Термoeлектричний перетворювач температури

Для контролю температури в плавильній печі пропонується використовувати термoeлектричний перетворювач температури Siemens SITRANS TS500 [4]. Даний прилад належить до серії промислових датчиків температури компанії Siemens і призначений для роботи в складних умовах технологічних процесів, що

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характеризуються високими температурами, значними механічними навантаженнями та агресивним виробничим середовищем.



Рисунок 3.2 – Термоелектричний перетворювач температури Siemens SITRANS TS500

Конструктивно датчик складається з термopарного чутливого елемента, захисної арматури, з'єднувальної головки та монтажного вузла. Як первинний перетворювач використовується термopара типу K (NiCr-Ni), яка забезпечує надійне вимірювання температур у широкому діапазоні та характеризується високою стабільністю метрологічних характеристик. Для захисту від механічних пошкоджень і впливу високотемпературного середовища чутливий елемент розміщується у спеціальній термокишені з жаростійкої сталі або кераміки.

Датчик Siemens SITRANS TS500 може експлуатуватися при температурах до 1200–1300 °C залежно від конструктивного виконання та типу захисної арматури, що повністю відповідає умовам роботи плавильної печі виробництва хлороксиду міді, де температура плавлення мідного лому становить близько 1200 °C.

Основними перевагами датчика є висока точність вимірювання, стійкість до вібрацій, довговічність, можливість роботи в умовах значних теплових навантажень

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та сумісність із сучасними системами автоматизації. Прилад може комплектуватися вбудованим температурним трансмітером, який забезпечує перетворення сигналу термопари в стандартний струмовий сигнал 4–20 мА для подальшої передачі на регулятори, контролери та системи диспетчеризації.

Основні технічні характеристики датчика Siemens SITRANS TS500 [5]:

- тип чутливого елемента — термопара типу К (NiCr-Ni);
- діапазон вимірювання температури — до 1300 °С;
- клас точності — 1 згідно з IEC 60584;
- вихідний сигнал — термо-ЕРС або 4–20 мА (за наявності вбудованого трансмітера);
- матеріал захисної арматури — жаростійка нержавіюча сталь або кераміка;
- ступінь захисту головки підключення — до IP68;
- можливість використання в умовах підвищеної вібрації та високих температур.

Вибір датчика Siemens SITRANS TS500 для контуру автоматичного регулювання температури плавильної печі забезпечує високу надійність вимірювань, стабільність роботи системи керування та необхідну точність підтримання технологічного режиму плавлення мідного лому.

3.2.2 Регулюючий клапан

Регулюючий клапан Samson 3241 з електропневматичним позиціонером є високоточним виконавчим пристроєм, призначеним для безперервного автоматичного регулювання витрати рідких, газоподібних та парових середовищ у промислових технологічних процесах. У системі автоматизації плавильної печі виробництва хлороксиду міді клапан використовується для керування подачею повітря, паливного газу або інших технологічних середовищ, що безпосередньо впливають на температурний режим та ефективність процесу плавлення.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструктивно клапан Samson 3241 [6] належить до односідельних прохідних регулюючих клапанів лінійного типу. Корпус клапана може виготовлятися із сірого чавуну, високоміцного чавуну, вуглецевої або нержавіючої сталі залежно від умов експлуатації та характеристик робочого середовища. Клапан характеризується високою герметичністю перекриття потоку та значною механічною міцністю, що забезпечує тривалий термін служби навіть за несприятливих умов експлуатації.



Рисунок 3.3 – Регулюючий клапан

Номінальний діаметр клапана залежно від модифікації становить від DN 15 до DN 300, а номінальний тиск може досягати PN 40. Робочий діапазон температур середовища знаходиться в межах від -196°C до $+450^{\circ}\text{C}$, що дозволяє використовувати клапан як у низькотемпературних, так і у високотемпературних технологічних процесах [7].

Регулюючий орган клапана виконується з різними характеристиками пропускної здатності: лінійною, рівновідсотковою або спеціальною, що дозволяє адаптувати систему регулювання до конкретного технологічного процесу. Для

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

зниження шуму та вібрацій можуть застосовуватися спеціальні шумопоглинальні вставки, перфоровані плунжери або багатоступеневі дроселюючі елементи.

Клапан комплектується пневматичним мембранним виконавчим механізмом типу 3271 або 3277, який забезпечує високу швидкодію та значне перестановочне зусилля. Робочий хід штока залежно від типорозміру становить від 15 до 60 мм. Пневматичний привід відзначається простотою конструкції, високою надійністю та можливістю реалізації аварійного положення «нормально відкритий» або «нормально закритий» у разі втрати керуючого сигналу чи тиску живлення.

Для забезпечення точного позиціонування використовується електропневматичний позиціонер, який перетворює електричний сигнал керування стандарту 4–20 мА у пропорційний пневматичний сигнал для виконавчого механізму. Позиціонер безперервно контролює фактичне положення штока клапана та автоматично усуває вплив сил тертя, зміни тиску стисненого повітря та зовнішніх збурень. Завдяки цьому похибка позиціонування не перевищує 1 % від повного ходу виконавчого механізму.

Електропневматичний позиціонер забезпечує високу чутливість і швидкодію системи регулювання, підтримує функції автоматичного налаштування, самодіагностики та безперервного моніторингу стану клапана. Для живлення позиціонера використовується стиснене повітря тиском від 0,14 до 0,6 МПа. Вхідний сигнал керування відповідає міжнародному промисловому стандарту 4–20 мА, що забезпечує сумісність із програмованими логічними контролерами Siemens та іншими засобами автоматизації.

Конструкція клапана передбачає можливість встановлення додаткового обладнання, зокрема кінцевих вимикачів положення, електромагнітних клапанів, датчиків зворотного зв'язку та цифрових комунікаційних модулів. Це дозволяє інтегрувати виконавчий механізм у сучасні автоматизовані системи керування технологічними процесами.

Застосування регулюючого клапана Samson 3241 з електропневматичним позиціонером у системі автоматизації плавильної печі забезпечує високу точність

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтримання витрати повітря та газів, покращує стабільність температурного режиму, підвищує якість готового продукту та сприяє зниженню енергетичних витрат виробництва.

3.2.3 Витратомір на основі ультразвукової технології

Endress+Hauser Prowirl F 200 — це високоточний вимірювач витрати на основі ультразвукової технології, спеціально розроблений для вимірювання витрати сухого природного газу та інших газоподібних середовищ у промислових і комерційних застосуваннях.

Пристрій використовує метод кореляції ультразвукових імпульсів, що дозволяє отримувати точні та надійні значення витрати навіть у складних умовах з турбулентним потоком. Prowirl F 200 рекомендований для вимірювань, де необхідна висока точність, стабільність і надійність протягом тривалого часу.

Датчик монтується безпосередньо в трубопровід, доступний у різних діаметрах для роботи з широким діапазоном потужностей потоку. Він має компактний корпус із захистом від впливу зовнішніх факторів і відповідає високим стандартам захисту, що забезпечує експлуатацію в умовах високих температур, тиску і корозії.

Prowirl F 200 підтримує цифрові інтерфейси для підключення до систем автоматизації, що дозволяє легко інтегрувати його у складні системи контролю та моніторингу. Завдяки низьким втратам напору і відсутності рухомих частин прилад має тривалий термін служби й мінімальні вимоги до обслуговування.

Основні області застосування включають нафтову, газову промисловість, енергетику, хімічні підприємства та інші галузі, де потрібен точний облік і контроль руху газів.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.4 – Ультразвуковий витратомір Endress+Hauser Prowirl F 200

- Точність виміру: $\pm 1\%$ від вимірюного значення (типова похибка)
- Діапазон витрати: Широкий, залежить від діаметра труби, приблизно 0.05...40 м/с швидкість потоку
- Максимальний робочий тиск: До 40 бар (залежить від матеріалу і конфігурації)
- Температурний діапазон: Від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для стандартної версії, є варіанти для високих температур)
- Матеріал корпусу: Нержавіюча сталь (AISI 316L або аналогічна)
- Ступінь захисту: IP66/67 (залежить від виконання)
- Комунікації: Аналогові виходи (4-20 мА), цифрові інтерфейси (HART, Foundation Fieldbus, PROFIBUS PA)
- Живлення: Залежить від моделі, зазвичай 24 В постійного струму
- Монтаж: Вбудований у трубопровід, фланцеве або зварне приєднання
- Додаткові функції: Вбудований діагностичний модуль, функції самоконтролю, підтримка дистанційного моніторингу

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Даний витратомір надійний у застосуванні навіть при складних умовах, захищений від впливу шумів і турбулентності потоку, не має рухомих частин, що забезпечує тривалий термін служби і мінімальне техобслуговування.

3.2.4 Восьмиканальний мікропроцесорний регулятор

Для реалізації автоматичного регулювання температури плавильної печі в системі керування виробництвом хлороксида міді використовується восьмиканальний мікропроцесорний регулятор МТР-8 виробництва ТОВ «МІКРОЛ». Прилад належить до класу сучасних програмованих засобів автоматизації та призначений для вимірювання, індикації, реєстрації, сигналізації та регулювання технологічних параметрів у промислових системах керування.

Регулятор МТР-8 побудований на базі мікропроцесорної техніки та забезпечує одночасну обробку сигналів від декількох первинних перетворювачів. Прилад підтримує роботу з термopарами, термоперетворювачами опору, а також уніфікованими аналоговими сигналами струму та напруги. Це дозволяє використовувати його в різноманітних системах автоматичного керування технологічними процесами.

У системі автоматизації плавильної печі регулятор виконує функцію центрального пристрою керування контуром температури. Сигнал від термоперетворювача Siemens SITRANS TS500 через нормувальний перетворювач НПМ-11 надходить на вхід регулятора МТР-8. Вбудований мікропроцесор здійснює безперервне порівняння виміряного значення температури із заданим значенням та формує керуючий вплив на регулюючий клапан подачі природного газу.

Прилад підтримує реалізацію різних алгоритмів автоматичного регулювання, зокрема пропорційного (П), пропорційно-інтегрального (ПІ), пропорційно-диференціального (ПД) та пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД). Для керування температурою плавильної печі доцільним є використання ПІ-регулятора,

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

який забезпечує високу точність підтримання температурного режиму при достатньо простій структурі алгоритму та високій стійкості системи.

Однією з важливих переваг МТР-8 є можливість автоматичного налаштування параметрів регулювання. Функція автонастроювання дозволяє визначати оптимальні значення коефіцієнтів регулятора без виконання складних інженерних розрахунків, що значно спрощує введення системи в експлуатацію та забезпечує високу якість перехідних процесів.

Регулятор оснащений цифровим індикатором, який відображає поточне значення контролюваного параметра, задане значення, режим роботи та повідомлення про аварійні ситуації. Наявність світлодіодної індикації дозволяє оператору швидко оцінювати стан технологічного процесу та оперативно реагувати на відхилення від нормального режиму роботи.

Для інтеграції в сучасні автоматизовані системи керування МТР-8 підтримує стандартні аналогові виходи 4–20 мА та дискретні сигнали керування. Це дозволяє безпосередньо підключати виконавчі механізми, частотні перетворювачі, електропневматичні позиціонери та інші технічні засоби автоматизації.

Основними технічними характеристиками регулятора МТР-8 є:

- кількість універсальних каналів вимірювання – до 8;
- підтримка термопар типів К, S, R, В, J, Т, L та інших;
- підтримка термоперетворювачів опору Pt100, Pt50, Cu50 та аналогічних;
- аналогові вихідні сигнали 0–5 мА, 4–20 мА, 0–10 В;
- реалізація П, ПІ, ПД та ПІД-законів регулювання;
- функція автоматичного налаштування параметрів регулятора;
- наявність аварійної сигналізації та технологічних блокувань;
- живлення від мережі змінного струму 220 В, 50 Гц;
- можливість роботи в складі автоматизованих систем керування технологічними процесами.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.5 – Восьмиканальний мікропроцесорний регулятор МТР-8

Застосування мікропроцесорного регулятора МТР-8 у системі автоматизації плавильної печі забезпечує високу точність підтримання температури, зниження витрат енергоресурсів, підвищення надійності роботи технологічного обладнання та покращення якості підготовки мідної сировини для подальших стадій виробництва хлороксиду міді.

3.2.5 Додаткові технічні засоби автоматизації

Універсальний нормуючий перетворювач НПМ-11 є одноканальним мікропроцесорним пристроєм, призначеним для перетворення сигналів від первинних вимірювальних перетворювачів у стандартизовані уніфіковані сигнали постійного струму або напруги. У системі автоматизації плавильної печі виробництва хлороксиду міді прилад використовується для узгодження сигналів датчиків технологічних параметрів із входами програмованого логічного контролера Siemens та інших засобів керування.

Основною функцією НПМ-11 є нормування вхідних сигналів, що надходять від термопар, термометрів опору або аналогових датчиків, у стандартні діапазони 0–5 мА, 0–20 мА, 4–20 мА або 0–10 В. Це дозволяє забезпечити сумісність різнотипних вимірювальних пристроїв з єдиною системою збору та обробки даних, а також підвищити завадостійкість передачі інформації на значні відстані.

Перетворювач підтримує роботу з широким спектром вхідних сигналів, включаючи термопари різних типів та термоперетворювачі опору, а також уніфіковані електричні сигнали. Вбудований мікропроцесор забезпечує цифрову обробку вимірювальної інформації, лінеаризацію характеристик датчиків та компенсацію похибок, що виникають у процесі вимірювання.

Основна приведена похибка перетворення не перевищує $\pm 0,1\text{--}0,2\%$, що забезпечує високу точність передачі сигналу без суттєвих втрат інформації. Час реакції пристрою є мінімальним, що дозволяє використовувати його в швидкодіючих контурах контролю технологічних параметрів плавильної печі.

НПМ-11 має один незалежний канал вимірювання та перетворення, що спрощує його конструкцію та підвищує надійність роботи. Прилад оснащений програмованими параметрами конфігурації, які дозволяють налаштовувати тип вхідного сигналу, діапазон перетворення, характер вихідної характеристики та рівні фільтрації сигналу.

Для інтеграції в автоматизовані системи керування передбачені уніфіковані аналогові виходи, які можуть працювати в режимах активного або пасивного формування сигналу. Це забезпечує безпосереднє підключення до входів контролерів Siemens, модулів введення/виведення та регуляторів типу МІКРОЛ без додаткових узгоджувальних пристроїв.

Живлення перетворювача здійснюється від джерела постійного або змінного струму залежно від модифікації, з типовою напругою 24 В або 220 В. Споживана потужність є незначною, що дозволяє використовувати пристрій у системах з великою кількістю каналів без істотного збільшення енергоспоживання.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Корпус НПМ-11 виконаний у щитовому або модульному виконанні, що забезпечує зручність монтажу в шафах керування. Пристрій має високу електромагнітну стійкість та може працювати в умовах промислових заводів, характерних для металургійних і хімічних виробництв.

Використання нормуючого перетворювача НПМ-11 у системі автоматизації плавильної печі забезпечує уніфікацію сигналів вимірювальної інформації, підвищення точності передачі даних, покращення сумісності між польовими пристроями та системою керування, а також підвищення загальної надійності технологічного комплексу.



Рисунок 3.6 – Універсальний нормуючий перетворювач НПМ-11

Schneider Electric Harmony XB4-BS542 — це кнопка з фіксацією червоного кольору з серії Harmony XB4 [9]. Вона виготовлена з пластику й металевої обойми й має діаметр 22 мм. Кнопка призначена для панельного монтажу у проріз діаметром 22 мм. Вона розрахована на роботу при напрузі до 660 В змінного струму і струмі до 10 ампер (залежно від конфігурації контактів). Контакти можуть бути нормально відкритими або нормально закритими. Ступінь захисту забезпечує захист від пилу і

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

бризок за стандартом IP65. Ця кнопка підходить для керування промисловим обладнанням і машинами, забезпечуючи надійність і довговічність експлуатації.



Рисунок 3.6 – Кнопка з фіксацією червоного кольору з серії Harmony XB4

Schneider Electric TeSys D LC1D09 — це електромеханічний контактор, що належить до популярної серії TeSys D, призначеної для керування і захисту електродвигунів та інших електричних навантажень у промислових і комерційних автоматизованих системах [10].

Контактор має номінальний струм 9 ампер і розрахований на роботу при напругах до 690 В змінного струму (АС-3). Це дозволяє йому ефективно керувати невеликими і середніми електродвигунами, а також іншими типами навантажень, включаючи нагрівальні елементи.

Він комплектується електромагнітним приводом із довговічними контактами, що забезпечують швидке і надійне комутаційне з'єднання, знижуючи знос і забезпечуючи стабільну роботу в режимах частих включень/виключень. Контакти мають спеціальне покриття для покращення зносостійкості й стійкості до іскроутворення.

Монтаж контактора гнучкий і зручний: він може встановлюватися як на стандартну DIN-рейку, так і безпосередньо на монтажну панель, що спрощує інтеграцію в існуючі електричні щити.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Контактор Schneider Electric LC1D09 оснащений додатковими контактними блоками, які можна додатково приєднати для розширення функціональності (підключення додаткових сигналів або управління різними режимами роботи). Пристрій відповідає міжнародним стандартам безпеки та якості, таким як IEC і UL.

Застосовується у промислових автоматизованих комплексах, системах вентиляції, насосних установках, конвеєрах, у промисловому обладнанні, де потрібен надійний старт, зупинка і переключення електродвигунів або інших електричних споживачів.



Рисунок 3.7 – Електромеханічний контактор Schneider Electric TeSys D LC1D09

Висновки до розділу 3

У даному розділі виконано розроблення системи автоматизації процесу плавлення мідного лому як однієї з ключових стадій виробництва хлороксиду міді. На основі проведеного аналізу технологічного процесу розроблено функціональну схему автоматизації, яка забезпечує безперервний контроль, регулювання та сигналізацію основних технологічних параметрів плавильної печі.

Під час розроблення функціональної схеми визначено склад контурів автоматичного контролю та регулювання, встановлено взаємозв'язки між

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

первинними вимірювальними перетворювачами, регуляторами, виконавчими механізмами та регулюючими органами. Особливу увагу приділено контуру автоматичного регулювання температури печі, оскільки саме температурний режим є визначальним фактором ефективності процесу плавлення та якості підготовки мідної сировини до подальшої переробки.

Для реалізації розробленої системи автоматизації виконано вибір сучасних технічних засобів, які відповідають умовам експлуатації та вимогам технологічного процесу. Як первинний вимірювальний перетворювач температури обрано термометр опору Siemens SITRANS TS500, що забезпечує високу точність вимірювання температури в умовах промислового виробництва. Для регулювання подачі природного газу застосовано регулюючий клапан Samson 3241 з електропневматичним позиціонером, який дозволяє плавно змінювати витрату палива відповідно до команд системи керування.

Для вимірювання витрат газових середовищ обрано ультразвуковий витратомір, що характеризується високою точністю, відсутністю рухомих елементів та мінімальними втратами тиску в трубопроводі. Реалізацію алгоритмів автоматичного керування покладено на восьмиканальний мікропроцесорний регулятор МТР-8 виробництва компанії «МІКРОЛ», який забезпечує виконання функцій вимірювання, індикації, сигналізації та регулювання технологічних параметрів за ПІД-законом керування.

Крім основних засобів автоматизації, підібрано допоміжне обладнання, до складу якого входять нормувальні перетворювачі сигналів, кнопки керування, магнітні пускачі, виконавчі механізми та інші елементи, необхідні для надійного функціонування системи.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано розроблення системи автоматизації процесу виробництва хлороксиду міді на основі аналізу технологічного процесу, дослідження його динамічних характеристик та вибору сучасних технічних засобів автоматизації.

У ході виконання роботи проведено аналіз технології виробництва хлороксиду міді, розглянуто фізико-хімічні основи процесу, досліджено властивості основної сировини та допоміжних матеріалів, а також детально проаналізовано технологічну схему виробництва. Встановлено, що процес характеризується багатостадійністю, значною кількістю взаємопов'язаних матеріальних та енергетичних потоків, а також високими вимогами до точності підтримання технологічних параметрів.

На основі аналізу технологічного процесу визначено основні параметри, що підлягають автоматичному контролю та регулюванню. Встановлено, що найбільш важливим параметром є температура плавильної печі, від якої залежать якість розплаву міді, ефективність подальших технологічних операцій та загальна продуктивність виробництва.

У роботі досліджено матеріальні та енергетичні потоки виробництва, складено матеріальний і тепловий баланси плавильної печі. Аналіз отриманих результатів показав, що найбільші енергетичні витрати припадають на стадію плавлення мідного лому, тому стабілізація температурного режиму є одним із найефективніших способів зниження питомих витрат енергії та підвищення економічності виробництва.

Для дослідження динамічних властивостей об'єкта керування виконано математичний опис плавильної печі та отримано передатні функції каналів регулювання. Встановлено, що об'єкт має властивість самовирівнювання та значну теплову інерційність. Для спрощення інженерних розрахунків під час синтезу

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи керування транспортним запізненням було знехтувано, а об'єкт представлено передатною функцією другого порядку без запізнення.

На основі проведеного аналізу виконано синтез системи автоматичного регулювання температури плавильної печі. Проведене моделювання та аналіз стійкості підтвердили працездатність запропонованої системи керування, її здатність забезпечувати стійкий режим роботи, допустиме перерегулювання та прийнятний час встановлення перехідного процесу.

У роботі розроблено функціональну схему автоматизації відповідно до вимог чинних стандартів. Схема передбачає автоматичний контроль температури, витрати природного газу та повітря, формування керуючих впливів на виконавчі механізми, а також сигналізацію та контроль стану технологічного обладнання.

Для реалізації системи автоматизації здійснено вибір сучасних технічних засобів. Як первинний перетворювач температури обрано термометр опору Siemens SITRANS TS500, для узгодження сигналів — нормувальний перетворювач НПМ-11, функції автоматичного регулювання покладено на восьмиканальний мікропроцесорний регулятор МТР-8 виробництва компанії «МІКРОЛ». Регулювання подачі природного газу здійснюється за допомогою регулюючого клапана Samson 3241 з електропневматичним позиціонером. Для контролю витрат газових середовищ використано ультразвукові витратоміри промислового виконання.

Запропонована система автоматизації дозволяє підвищити точність підтримання температурного режиму плавильної печі, знизити витрати паливно-енергетичних ресурсів, зменшити вплив людського фактора на технологічний процес, покращити якість підготовки мідної сировини та підвищити загальну ефективність виробництва хлороксиду міді.

Отримані результати підтверджують доцільність впровадження сучасних мікропроцесорних засобів автоматизації для керування технологічними процесами хімічних виробництв та можуть бути використані під час модернізації існуючих або проектування нових виробничих ліній з виготовлення хлороксиду міді.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Лукінюк М. В. 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. Шапорєв В. П., Пітак І. В., Шестопапов О. В. Технологія неорганічних речовин та мінеральних добрив : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХПІ», 2021. 287 с.
3. Цюцюра М. І., Цюцюра С. В. Автоматизація технологічних процесів і виробництв : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2018. 344 с.
4. Siemens AG. SITRANS TS500 – Universal Temperature Sensor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/temperature-measurement/sensor-sitrans-ts500.html>.
5. Siemens AG. SITRANS TS500 – універсальний датчик температури [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.siemens.com/uk-ua/products/sitrans/ts500/>.
6. SAMSON AG. Type 3241 Control Valve. Technical Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.samsongroup.com/en/products/valves/3241-electric-din/>.
7. SAMSON AG. Type 3730-3 Electropneumatic Positioner with HART Communication [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.samsongroup.com/en/products/valve-accessories/3730-3-1/>.
8. Endress+Hauser. Proline Prowirl F 200 Vortex Flowmeter [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/Vortex-flowmeter-Proline-Prowirl-F200>.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

9. Schneider Electric. Harmony XB4 Metal Push Buttons [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.se.com/ww/en/product-range/539-harmony-xb4/>.

10. Schneider Electric. TeSys D Contactors LC1D09 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.se.com/ww/en/product-range/1400-tesys-d/>.

11. AUMA Riester GmbH & Co. KG. Multi-turn Actuators SA 07.6–SA 16.2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.auma.com/en/products/multi-turn-actuators/sa>.

					БР.АКП-58.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		