

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»
на тему
АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА
СУЛЬФОАММОФОСА
AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF
SULFAMMORPHOS PRODUCTION

спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
(шифр і назва спеціальності)
освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АВм-21
Цьома Олександр Вадимович _____
(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент
Федік Леся Юріївна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«___» грудня 2025 р.
Гарант освітньої програми:
К.т.н., Гуменюк Павло Олександрович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 17 Автоматизація та приладобудування

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

Освітня програма: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,

_____ к.т.н., Повстяной О. Ю.

"__" _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ДРУГОГО (МАГІСТЕРСЬКОГО) РІВНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Цьома Олександр Вадимович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація технологічного процесу виробництва сульфоаммофоса

керівник роботи: к. т. н., доцент, Федік Леся Юріївна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 27 » 06 2025 року №304/01-02

2. Строк подання здобувачем роботи: 12.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи технологічний процес виробництва сульфоаммофоса

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Стан питання і завдання досліджень. 2 Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування. 3 Обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації. 4 Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації. 5 Обґрунтування вибору і опис принципів схем автоматизації. 6 Програма функціонування мікроконтролера. 7 Спеціальна частина. 8 Обґрунтування вибору щитів, пультів і засобів монтажу. 9 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 10 техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки та рекомендації.

5. Перелік графічного матеріалу

1 Схема функціональна – формат А1. 2. Схема електрична принципова – формат А1. 3 Блок-схема – формат А1. 4 Програма - формат А1. 5 Щит керування - формат А1. 6 САР - формат А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Теоретична частина</i>	<i>Федік Л. Ю.</i>		
<i>Аналітична частина</i>	<i>Федік Л. Ю.</i>		
<i>Рекомендаційна частина</i>	<i>Федік Л. Ю.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Липченко Ю. С.</i>		
<i>Гарант ОПП</i>	<i>Гуменюк П. О.</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>		_____ %	
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Федік Л.Ю.</i>		

7. Дата видачі завдання 27.06.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Вибір теми кваліфікаційної роботи</i>	До 27.06.2025 р.	виконано
2.	<i>Стан питання і завдання досліджень</i>	До 02.07.2025 р.	виконано
3.	<i>Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування</i>	До 20.07.2025 р.	виконано
4.	<i>Обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації</i>	До 01.08.2025р.	виконано
5.	<i>Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації</i>	До 05.09.2025 р.	виконано
6.	<i>Спеціальна частина</i>	До 07.10.2025 р.	виконано
7.	<i>Обґрунтування вибору і опис принципів схем автоматизації</i>	До 10.10.2025 р.	виконано
8.	<i>Програма функціонування мікроконтролера</i>	До 10.10.2025 р.	виконано
9.	<i>Розрахунок економічної ефективності системи автоматизації, що проектується</i>	До 20.10.2025 р.	виконано
10.	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	До 01.11.2025 р.	виконано
11.	<i>Інструментальна перевірка і експертне оцінювання рівня унікальності тексту</i>	До 05.12.2025 р.	виконано
12.	<i>Представлення роботи до захисту</i>	До 14.12.2025 р.	виконано

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Цьома О. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Федік Л. Ю.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Цьома О. В. Автоматизація технологічного процесу виробництва сульфоаммофоса. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, десяти розділів, загальних висновків та, переліку використаних джерел та додатків.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена розробці автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва сульфоаммофосу. Проведено аналіз технологічної схеми, визначено ключові параметри контролю та підібрано відповідні датчики, виконавчі механізми й модулі контролера Advantech ADAM-4000. Розроблено функціональну схему, алгоритм роботи та програмне забезпечення у середовищі AdamView. Виконано розрахунок системи автоматичного регулювання температури аміаку, вибрано оптимальні налаштування ПД-регулятора та обґрунтовано вибір блоку живлення. Проведено економічну оцінку впровадження, яка підтверджує доцільність автоматизації для підвищення ефективності та стабільності роботи виробництва.

Об'єм графічної частини магістерської роботи складає 6 листа формату А1 (840 × 594 мм). Обсяг пояснювальної записки становить 72 друкованих сторінок.

Магістерська робота містить 8 рисунків, 16 таблиць. Використано 20 літературних джерел та інформація з глобальної мережі Інтернет.

Ключові слова: автоматизація, сульфоаммофос, ADAM-4000, датчики, контролер, AdamView, ПД-регулятор, технологічний процес, система управління.

ANNOTATION

Tsioma O. Automation of the technological process of sulfammophos production. Manuscript.

Master's qualification thesis of the Educational Program «Automation and Computer-Integrated Technologies» in the specialty 174 «Automation, Computer-Integrated Technologies, and Robotics.» Lutsk National Technical University, Lutsk, 20245.

The master's qualification work consists of an introduction, ten chapters, general conclusions, a list of references, and appendices.

The master's qualification thesis is devoted to the development of an automated control system for the technological process of sulfammophos production. The technological scheme was analyzed, key control parameters were identified, and appropriate sensors, actuators, and Advantech ADAM-4000 controller modules were selected. A functional diagram, operational algorithm, and software were developed using the AdamView environment. The automatic ammonia temperature control system was calculated, optimal PID controller settings were determined, and the choice of power supply unit was justified. An economic assessment of the implementation was carried out, confirming the feasibility of automation to improve the efficiency and stability of the production process.

The graphical section of the master's thesis consists of 6 sheets in A1 format (840 × 594 mm). The explanatory note contains 72 printed pages.

The thesis includes 8 figures and 16 tables. The research references 20 literary sources and information from the global Internet network.

Keywords: automation, sulfammophos, ADAM-4000, sensors, controller, AdamView, PID controller, technological process, control system.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	11
1.1 Фізико-хімічні властивості сульфоамофосу.....	11
1.2 Опис технологічного процесу.....	12
1.3 Параметри технологічного процесу.....	15
1.4 Вимоги до системи автоматизації.....	18
Висновки до розділу 1.....	19
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	20
РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	23
РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	26
4.1 Обґрунтування вибору датчиків.....	26
4.2 Обґрунтування вибору виконавчих механізмів.....	28
4.3 Обґрунтування вибору контролера.....	29
Висновки до розділу 4.....	30
РОЗДІЛ 5 ОБГРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ	32
5.1 Опис принципової електричної схеми підключення датчиків та виконавчих елементів до контролера.....	32
5.2 Розрахунок та вибір блока живлення.....	33
Висновки до розділу 5.....	34
РОЗДІЛ 6 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	35
6.1 Розробка алгоритму функціонування системи управління.....	35
6.2 Розробка програмного забезпечення програмованого логічного контролера.....	36

Висновки до розділу 6.....	37
РОЗДІЛ 7 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА. РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ АМІАКУ НА ВИХІД ТЕПЛООБМІННИК.....	38
7.1 Постановка задачі.....	38
7.2 Одноконтурна автоматична система регулювання.....	40
7.3 Розрахунок налаштувань регулятора методом Циглера - Нікольса і побудова перехідних процесів регулювання.....	41
7.4 Результати моделювання АСР.....	42
Висновок до розділу 7.....	44
РОЗДІЛ 8 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЩИТІВ, ПУЛЬТІВ І ЗАСОБІВ МОНТАЖУ.....	45
РОЗДІЛ 9 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	47
РОЗДІЛ 10 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	50
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
ДОДАТКИ.....	56

ВСТУП

Актуальність теми.

Актуальність теми виробництва сульфоамофосу обумовлена сучасними викликами у сфері аграрного та хімічного виробництва, де зростає потреба в ефективних мінеральних добривах для підвищення урожайності та стабільності продовольчої безпеки. В умовах інтенсивного землеробства та виснаження ґрунтів сульфоамофос відіграє ключову роль як комплексне добриво, що забезпечує рослини необхідними поживними елементами. Додатково актуальність посилюється необхідністю удосконалення технологій виробництва та підвищення енергоефективності підприємств хімічної промисловості. Автоматизація процесів виготовлення сульфоамофосу дозволяє зменшити енергозатрати, підвищити стабільність якості продукції та мінімізувати вплив людського фактора, що є критично важливим у сучасних умовах промислового розвитку.

Проблема дослідження.

Основна проблема полягає в недостатній точності й стабільності контролю технологічних параметрів під час виробництва сульфоамофосу. Наявні системи автоматизації не забезпечують оптимального регулювання витрат реагентів, температури, тиску та рівня, що призводить до погіршення якості продукту та збільшення енерговитрат. Тому виникає потреба у вдосконаленні системи керування для забезпечення стабільного та ефективного перебігу технологічних процесів.

Мета – підвищення ефективності та стабільності виробництва сульфоамофосу шляхом розробки та впровадження автоматизованої системи керування, здатної забезпечити оптимальні технологічні параметри на всіх етапах обробки.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виробництва сульфоамофосу, що охоплює комплекс хімічних та фізико-технічних операцій: нейтралізацію фосфорної та сірчаної кислот аміаком, отримання пульпи фосфатів амонію,

гранулювання, сушіння та охолодження готового продукту.

Предмет дослідження – методи, технічні засоби та алгоритми автоматизованого контролю і керування процесами нейтралізації, аммонізації, гранулювання та сушіння у виробництві сульфоамофосу.

Методи досліджень – включають теоретичний аналіз науково-технічних джерел, моделювання динаміки технологічних процесів, системний аналіз параметрів виробництва сульфоамофосу, розрахунок та вибір технічних засобів автоматизації, а також розробку та тестування алгоритмів керування в програмному середовищі AdamView.

Задачі дослідження:

- 1) виконати аналіз технологічного процесу виробництва сульфоамофосу та визначити його ключові параметри керування;
- 2) обґрунтувати вибір структури автоматизованої системи керування;
- 3) розробити функціональну схему автоматизації процесу;
- 4) підібрати датчики, виконавчі механізми та контролери, необхідні для реалізації системи;
- 5) створити схеми підключення технічних засобів та визначити принципи їх роботи в системі;
- 6) розробити алгоритм керування та програмне забезпечення у середовищі AdamView;
- 7) виконати розрахунок автоматичної системи регулювання температури аміаку;
- 8) провести економічну оцінку впровадження запропонованої системи автоматизації.

Практична цінність та галузь застосування.

Отримані результати можуть бути використані для модернізації існуючих ліній виробництва сульфоамофосу, зниження експлуатаційних витрат, підвищення якості продукції та безпеки роботи обладнання. Розроблена система керування може бути впроваджена на підприємствах хімічної промисловості.

Наукова новизна – передбачає розроблення інтегрованої системи автоматичного керування з використанням модулів ADAM, сучасних витратомірів, датчиків рівня, температури та тиску, а також оптимізованих алгоритмів регулювання для підвищення стабільності технологічних показників.

На основі проведених досліджень та розробленої системи автоматизованого керування було підготовлено й оприлюднено наукову публікацію Цьома О. В., Федік Л. Ю., Смолянкін О. О. Автоматизація технологічного процесу виробництва сульфоамофосу. XIII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління». Луцьк. ЛНТУ. 2025. С.32-37.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Фізико-хімічні властивості сульфоамофосу

Сульфоамофос належить до групи комплексних мінеральних добрив, що повністю розчиняються у воді та містять два ключові елементи живлення рослин - азот і фосфор. Основу препарату становить моноамонійфосфат ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), тоді як частка діамонійфосфату ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) зазвичай не перевищує 10%. Така комбінація забезпечує збалансоване живлення культур і сприяє кращому засвоєнню поживних речовин у ґрунті [1].

Матеріал характеризується низькою чутливістю до поглинання вологи. При масовій частці води близько 1% його гігроскопічна точка становить приблизно 75% відносної вологості, що свідчить про стійкість добрива до злежування під час зберігання. За своїми фізичними властивостями амофос відносять до негігроскопічних речовин, тому він зберігає сипкість у звичайних складських умовах [1, 2].

Насипна густина продукту зазвичай перебуває в межах 0,98–1,05 т/м³, що є важливим показником для транспортування та дозування в сільськогосподарських технологіях. Розчинність амофосу при температурі 25 °С становить близько 26 г на 100 г води, що забезпечує швидке вивільнення поживних компонентів у ґрунтовому розчині. Температура плавлення добрива - приблизно 190 °С, що вказує на його термостійкість та стабільність під час виробничих і агротехнічних процесів [2].

Завдяки поєднанню високої концентрації поживних елементів, добрих фізико-хімічних властивостей та зручності внесення, сульфоамофос широко застосовується в рослинництві, особливо на культурних рослинах, що потребують підвищеної кількості фосфору та азоту. Добриво демонструє високу ефективність на різних типах ґрунтів і добре поєднується з іншими мінеральними комплексами, що робить його універсальним засобом для підвищення родючості ґрунту та оптимізації живлення рослин [3].

1.2 Опис технологічного процесу

1.2.1 Нейтралізація екстракційної фосфорної кислоти аміаком

Нейтралізатор (поз. 1) являє собою вертикальний циліндричний апарат, виготовлений із корозійностійкої нержавної сталі. У середині корпусу по осі встановлена трирівнева мішалка, яка забезпечує інтенсивну циркуляцію реагентів та запобігає утворенню надмірної піни під час проведення процесу. У верхній зоні апарата розташовано швидкодіючий трубчастий реактор (поз. 2), який працює як основний вузол змішування реагентів [4, 5].

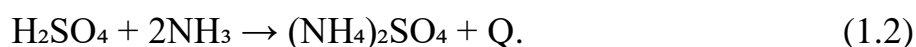
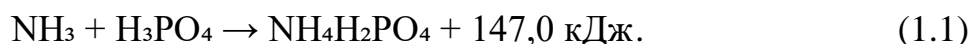
Трубчастий реактор (поз. 2) конструктивно складається з головної змішувальної камери та вертикальної труби значного діаметра, що забезпечує стабільний потік реагентів і достатній час їх контакту [6].

Екстракційна фосфорна кислота з концентрацією P_2O_5 не менше 47% надходить до реактора поз. 2 із резервуара поз. 3. Після проходження охолодження в теплообміннику (поз. 7) у реактор подається рідкий аміак. Сірчана кислота зі сховища поз. 4 також спрямовується до цього ж вузла.

Додатково у трубчастий реактор надходить абсорбційна рідина з ємності поз. 5. Параметри цієї рідини підтримуються на рівні: рН у межах 1,5–5,5 та густина не вище 1,31 г/см³.

Подача аміаку з ємності поз. 6 регулюється таким чином, щоб мольне співвідношення NH_3 до H_3PO_4 у пульпі амонійних фосфатів не перевищувало значення 0,75.

У швидкісному реакторі поз. 2 рідкий аміак реагує з фосфорною та сірчаною кислотами відповідно до таких рівнянь (1.1, 1.2):



Процес нейтралізації має виражений екзотермічний характер, унаслідок чого частина води інтенсивно випаровується, що є характерною особливістю даного технологічного етапу [7].

1.2.2 Доаммонізація пульпи газоподібним аміаком в швидкісному реакторі

Трубочастий реактор-нейтралізатор (поз. 8), який розташований у передній частині гранулятора (поз. 9), конструктивно складається зі змішувальної головки, куди подається газоподібний аміак разом із пульпою амонійних фосфатів, горизонтального трубопроводу значного діаметра та розпилювальної форсунки.

Потік пульпи амонійних фосфатів із реактора поз. 1, охолодженої до температури не вище 130 °С, безперервно надходить до реактора поз. 8. У цьому апараті відбувається завершальна стадія аммонізації, під час якої газоподібний аміак інтенсивно взаємодіє з компонентами пульпи, доводячи реакцію нейтралізації до необхідного ступеня.

Перед подачею в трубочастий реактор поз. 8 рідкий аміак піддається випаровуванню та додатковому нагріванню в апараті поз. 10, де він обробляється паром під тиском 0,918 МПа до температури 110-140 °С. Кількість аміаку й інших реагентів, що надходять у реакційну зону, регулюється таким чином, щоб забезпечити мольне співвідношення $\text{NH}_3 / \text{H}_3\text{PO}_4$ у грануляторній шихті в межах 1,05-1,25.

Після проходження через трубочастий реактор поз. 8 сформована пульпа амонійних фосфатів за допомогою пари, яка утворюється внаслідок хімічної реакції, розпилюється всередині гранулятора, де відбувається формування гранул добрива [5].

1.2.3 Гранулювання

Процес формування гранул амофосу відбувається у грануляторі (поз. 9), де рециркульований матеріал поєднується з рідким реагентом, це пульпа амонійних фосфатів. Конструктивно гранулятор являє собою циліндричний барабан, що обертається під кутом 3° до горизонту; його діаметр становить близько 5 м, а довжина – приблизно 8 м.

У передню частину апарата подається повітря, яке разом із компонентами процесу сприяє утворенню суцільного грануляційного шару всередині барабана. Через постійне обертання та нахил апарата цей шар безперервно оновлюється, що забезпечує рівномірний перебіг грануляції.

Пульпа амонійних фосфатів наноситься на поверхню рециркульованих частинок у вигляді дрібнодисперсного розпилу. Краплі пульпи багаторазово потрапляють на кожен частинку, поступово збільшуючи її масу та діаметр, що забезпечує формування рівномірних гранул.

Для запобігання налипанню продукту на внутрішню поверхню апарата гранулятор оснащений чотирма молотками, що періодично здійснюють удари по обичайці та очищають її від накопичених нашарувань.

Газова суміш, що виходить із гранулятора при температурі до 110 °С і містить водяну пару, аміак, фтористі сполуки, зважені частинки та повітря, направляється на подальше очищення в абсорбційний апарат.

Отримана гранульована шихта з параметрами: температура 70-90 °С, вміст вологи 1,5-2,5%, значення рН у межах 3,8-6,0 та мольне відношення $\text{NH}_3 / \text{H}_3\text{PO}_4$ 1,05-1,25 – надходить до сушильного барабана (поз. 11) для остаточного видалення вологи та стабілізації структури гранул [5].

1.2.4 Сушка продукту

Процес видалення вологи з гранул амофосу здійснюється в сушильному барабані (поз. 11), де теплоносієм слугують топкові газы. Сушильна установка являє собою похилий обертовий циліндр діаметром 5,5 м і довжиною 48,5 м, що працює за принципом прямоочного руху повітря та матеріалу.

Переміщення гранул уздовж барабана забезпечується його нахилом приблизно на 3° та постійним обертанням. У завантажувальній частині встановлено 12 спіралеподібних очищувальних смуг під кутом 45°, за якими розташовано 12 рядів по 16 горизонтальних лопатей. Ці елементи рівномірно розподіляють матеріал по перерізу барабана, покращуючи теплообмін між гранулами та гарячими газами.

На виході з сушарки розміщені ґрати, що складаються з металевих прутів і обладнані черпаками. Крупні грудки продукту (більше 80×50 мм) затримуються на ґратах, піднімаються черпаками та руйнуються ударами об решітку, після чого повертаються в потік матеріалу для повторної обробки.

Оптимальне заповнення сушильного барабана становить 20-30% його об'єму. Середній час перебування матеріалу в апараті приблизно 25 хвилин.

Тепло для сушіння утворюється під час спалювання природного газу в теплогенераторі (поз. 12). Камера згоряння являє собою футерований циліндр, у фронтальній частині якого встановлений газовий пальник. Підвищення температури в зоні горіння понад 1100 °С неприпустиме – у цьому випадку автоматично зменшується або повністю перекривається подача газу.

Після виходу з топки гарячі продукти горіння змішуються з вторинним повітрям у камері змішування. Завдяки роботі вентилятора температура газів, що надходять у сушильний барабан, підтримується на рівні не вище 390 °С.

Контроль температури повітря на виході з сушильного барабана здійснюється з центрального пульта управління (ЦПУ) шляхом регулювання подачі природного газу в пальник. Показник температури на виході не повинен перевищувати 115 °С.

Висушений продукт, що має масову частку вологи не більше 1,5%, гранулометричний склад: частки менше 1 мм – не більше 30%, гранули 2-5 мм – не менше 50%, частки понад 5 мм – не більше 20%, через скидну течку надходить на стрічковий конвеєр. Далі потік розподіляється між двома елеваторами для подальшої обробки та транспортування [5].

1.3 Параметри технологічного процесу

Рівень автоматизації технологічного процесу та точність контролю безпосередньо залежать від правильно підібраної контрольно-виміральної апаратури й раціонального вибору точок вимірювання. Для виробництва

сульфоамофосу ключовими технологічними параметрами є температура, рівень, тиск, витрата та концентрація реагентів.

Температурний контроль необхідний на всіх етапах процесу, оскільки технологія передбачає роботу з вибухонебезпечними та токсичними газовими компонентами. Вихід температури за встановлені межі може спричинити порушення технологічного режиму або навіть аварійну ситуацію, тому її моніторинг і своєчасне регулювання є критично важливими.

Контроль тиску також має велике значення, адже значна частина апаратів функціонує під надлишковим тиском, а подача пари здійснюється у відповідних напірних режимах. Стабільні показники тиску забезпечують безпечну роботу обладнання та підтримання оптимальних умов хімічних реакцій.

Витрати вихідних реагентів повинні контролюватися та регулюватися з високою точністю, оскільки від пропорцій компонентів напряму залежить якість кінцевого продукту. Крім цього, точний облік витрати необхідний для коректного розрахунку матеріальних балансів і визначення реального споживання сировини.

Контроль рівня у відповідних апаратах і резервуарах є невід'ємною складовою безперервного виробничого процесу. Недопущення переповнення обладнання забезпечує безпеку експлуатації, тоді як запобігання надмірно низькому рівню гарантує безперервність технологічних операцій та стабільність реакційних режимів.

Концентрація розчинів та сумішей також потребує постійного моніторингу й коригування, оскільки цей параметр прямо впливає на фізико-хімічні властивості продукту і визначає його кінцеву якість.

Усі зазначені технологічні параметри зведені до таблиці 1.1, де для кожного з них наведено місце контролю, необхідний діапазон вимірювання, допустиму похибку, а також інформацію щодо наявності функцій регулювання, реєстрації і сигналізації.

Додатково під час проектування системи автоматизації враховується вплив зовнішніх та внутрішніх збурюючих факторів, таких як зміна температури

навколишнього середовища, нестабільність характеристик сировини чи коливання тиску в парових магістралях.

Таблиця 1.1 – Технологічні параметри

Технологічний параметр	Значення	Відхилення	Місце контролю	вид контролю			
				контроль	регістрація	сигналізація	регулювання
1	2	3	4	5	6	7	8
Температура пульпи	110-130 °С	± 1,5%	Нейтралізатор	+	+	+	-
Температура топкових газів	300-390 °С	± 1,5%	Сушильний барабан	+	+	-	-
Температура	20-30 °С	± 1,5%	Охолоджувач	+	+	-	-
Температура	110-140 °С	± 1,5%	Випаровувач	+	+	-	-
Тиск газоподібного аміаку	1,3-1,6 МПа	± 3%	На виході з охолоджувача рідкого аміаку	+	+	-	-
Тиск	1,3-1,6 МПа	± 3%	На вході в гранулятор	+	+	+	-
Витрата фосфорної кислоти	95-100 т / год	± 5%	На виході в бак фосфорної кислоти	+	+	-	-
Витрата сірчаної кислоти	50-52 т / год	± 5%	На вході в бак сірчаної кислоти	+	+	-	-
Витрата аміаку	7-8 т / год	± 5%	На вході в швидкісний реактор	+	+	-	+

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Витрата пильпи фосфатів	8-10 т / год	± 5%	На вході в трубчастий реактор	+	+	-	+
витрата фосфорної кислоти	55-65 м3 / год	± 5%	На вході в трубчастий реактор	+	+	-	+
Витрата рідкого аміаку	4-5 м3 / год	± 5%	На вході в трубчастий реактор	+	+	-	+
Витрата сірчаної кілота	8-10 м3 / год	± 5%	На вході в трубчастий реактор	+	+	-	+
витрата газоподібно го аміаку	1-3 т / год	± 5%	На вході в швидкісний реактор	+	+	-	+

1.4 Вимоги до систем автоматизації

Технологічний процес виробництва сульфоамофосу має відповідати ряду обов'язкових вимог, спрямованих на забезпечення стабільності, безпеки та високої якості продукції. Зокрема, система автоматизації повинна гарантувати:

- підтримання сталих температурних режимів у нейтралізаторі шляхом автоматичного регулювання теплових параметрів;
- автоматичне утримання необхідних температур у сушильному барабані для забезпечення ефективного видалення вологи;
- стабілізацію температурного режиму в охолоджувачі за допомогою автоматизованих засобів керування;
- підтримання заданої температури у випарнику без участі оператора;
- підтримання необхідного тиску в системі випарювання за допомогою автоматичних регуляторів;

- контроль і регулювання тиску на вході до гранулятора в автоматизованому режимі;
- постійний автоматичний моніторинг наявності й витрати необхідних компонентів, що беруть участь у процесі;
- своєчасне спрацювання сигналізації рівня для запобігання переповненню або надмірному зниженню кількості речовин у апаратах.

Висновки до розділу 1

У розділі визначено основні параметри контролю та вимоги до автоматизації процесу виробництва сульфоамофосу. Ефективність і безпека технології залежать від точного вимірювання та регулювання температури, тиску, рівня, витрати і концентрації реагентів. Оскільки процес є безперервним і пов'язаний із використанням небезпечних речовин, надійна автоматизація є ключовою умовою стабільної роботи обладнання.

Автоматичне підтримання температурних режимів у основних апаратах, контроль тиску в системах випарювання та грануляції, а також моніторинг рівня та витрати забезпечують якість кінцевого продукту й запобігають аварійним ситуаціям. Застосування сучасної контрольно-вимірювальної техніки дозволяє підвищити точність керування процесом і отримати продукцію стабільно високої якості.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Якість кінцевої продукції у процесі виробництва сульфоамофосу визначається сукупністю технологічних та організаційних факторів. Насамперед важливим є точне дотримання співвідношень компонентів, що подаються в апарати, оскільки навіть незначні відхилення у дозуванні впливають на хімічний склад та властивості готового добрива. Не менш значущим є стабільне підтримання заданих температурних режимів на різних етапах технологічного процесу – у нейтралізаторі, грануляторі, сушильному барабані, охолоджувачі та інших апаратах.

Для досягнення стабільності виробництва необхідно забезпечити безперервний контроль і регулювання всіх технологічних параметрів. На рисунку 2.1 представлена схема параметрів процесу нейтралізації.



Рисунок 2.1 – Схема параметрів процесу нейтралізації

Вхідні параметри:

F_{ϕ} – витрата фосфорної кислоти;

$F_{ск}$ – витрата сірчаної кислоти;

$F_{ар}$ – витрата абсорбційної рідини;

F_a – витрата аміаку;

U_t – напруга на тені;

Вихідні параметри:

L – рівень в нейтралізаторі;

T – температура в нейтралізаторі;

Збурюючі впливи:

$t_{навк.сер.}$ – температура навколишнього середовища;

Q – якість сировини.

На рисунку 2.2 представлена схема параметрів випарника.

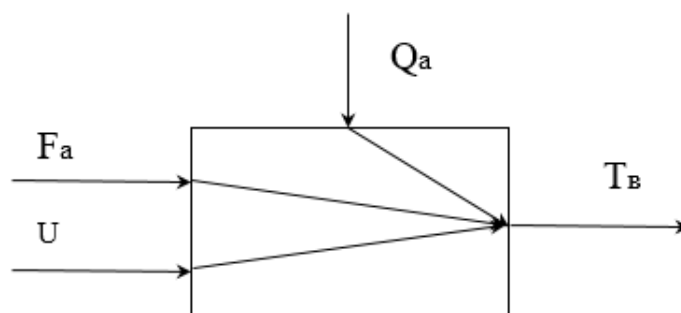


Рисунок 2.2 – Схема параметрів випарника

Вхідні параметри:

F_a – витрата аміаку;

U – напруга на тені.

Вихідні параметри:

T_v – температура в випарнику;

Збурюючі впливи:

Q_a – якість аміаку.

Висновки до розділу 2

Проведений аналіз показує, що виробництво сульфоамофосу є складним багатопараметричним процесом, у якому якість продукції значною мірою залежить від точності контролю витрат реагентів, температурних режимів та рівня в апаратах. На перебіг процесу суттєво впливають як керовані параметри, так і зовнішні збурення, зміна якості сировини та коливання температури навколишнього середовища.

Розглянуті схеми нейтралізатора та випарника ідентифікують основні вхідні, вихідні та збурюючі впливи, що визначають поведінку системи. Це підтверджує необхідність використання надійних засобів автоматизації для підтримання стабільних режимів роботи обладнання та забезпечення прогнозованої якості кінцевого продукту.

РОЗДІЛ 3

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Обґрунтування функціональної схеми автоматизованої системи керування ґрунтується на потребі забезпечення стабільності технологічного процесу, підвищення якості готової продукції та мінімізації впливу зовнішніх і внутрішніх збурень. В основу вибору схеми покладено результати аналізу технологічних параметрів виробництва сульфоамофосу: їх взаємодію, критичність відхилень та особливості регулювання [5].

У трубчастий реактор подача фосфорної кислоти здійснюється з ємності 2, причому кількість реагенту підтримується на необхідному рівні завдяки роботі контуру регулювання FE1-1, NS1-3 та керуючого клапана 1-4. Окрім неї, у реакційну зону надходять також сірчана кислота, абсорбційна рідина та аміак. Для кожного з цих компонентів передбачені окремі контури регулювання: подача сірчаної кислоти контролюється системою FE2-1, NS2-3, клапаном 3-4; абсорбційна рідина FE3-1, NS3-3, клапан 3-4; аміак контуром FE4-1, NS4-3 та клапаном 1-4. Узгоджена робота цих контурів забезпечує точне дозування реагентів і стабільність хімічної реакції.

Рівень пульпи в нейтралізаторі постійно моніториться за допомогою контуру LE15-1, NS15-3 та виконавчого клапана 15-4, що дозволяє запобігти переповненню або надмірному зниженню рівня в апараті. Температурний режим у нейтралізаторі підтримується системою вимірювання TE7-1, контролером NS7-3 та нагрівальним елементом (теном), від роботи якого залежить інтенсивність протікання нейтралізаційної реакції.

Перед подачею у трубчастий реактор аміак проходить стадію охолодження в теплообміннику. Регулювання температури охолодженого аміаку забезпечує контур TE5-1, NS7-3 і клапан 5-4, що дозволяє підтримувати параметри на вході в реактор у встановлених межах. Для аміаку, який спрямовується до реактора-

нейтралізатора, навпаки, передбачене попереднє підігрівання у випаровувачі. Температуру нагрівання підтримує контур TE9-1, NS9-3 та клапан 9-4.

Витрата пульпи амонійних фосфатів, що надходить на подальші технологічні операції, регулюється контуром FE8-1, NS8-3 та керуючим клапаном 1-4, що забезпечує рівномірність подачі продукту в наступні технологічні вузли.

Для забезпечення безпечних та стабільних умов транспортування реагентів передбачене автоматичне керування тиском у трубопроводах. Це здійснюється за допомогою двох контурів: PE10-1, NS10-3, клапан 10-4 та PE11-1, NS11-3, клапан 11-4. Вони запобігають перевищенню допустимих тисків і забезпечують надійність роботи системи.

У сушильному барабані контроль температурного режиму реалізується двома регуляторними контурами: TE13-1, NS13-3, клапан 13-4 та NS13-5, клапан 13-6. Така схема дозволяє підтримувати параметри сушіння в оптимальних межах, що важливо для формування якісних гранул. Додатково реалізовано систему контролю безпеки: наявність полум'я пальника контролюється датчиком BS13-7, що дозволяє оперативно реагувати на можливе згасання полум'я і запобігати аварійним ситуаціям.

Узгоджене функціонування усіх зазначених контурів автоматизації забезпечує стабільність технологічного процесу, точність дозування реагентів та підтримання необхідних умов у реакційних апаратах і допоміжному устаткуванні.

Висновок до розділу 3

Обґрунтований вибір функціональної схеми автоматизованої системи керування дозволив сформуванню оптимальної структури керування технологічним процесом виробництва сульфоамофосу. Проаналізовані контури регулювання витрати, температури, рівня та тиску забезпечують стабільність роботи основних апаратів і підтримання режимів, необхідних для якісного перебігу хімічних реакцій. Враховано характер збурюючих впливів, що дає можливість підвищити

надійність системи та мінімізувати ризики порушення технологічних параметрів.

Сформована схема забезпечує точне дозування реагентів, контроль теплових режимів у реакторах, випаровувачі та сушильному барабані, а також гарантує безпеку обладнання за рахунок автоматизованого контролю тиску та наявності полум'я. Раціональне розташування датчиків і виконавчих механізмів дозволяє реалізувати безперервний моніторинг процесу та своєчасне реагування на відхилення.

Таким чином, обрана функціональна схема відповідає вимогам до сучасних систем автоматизації, забезпечує стабільність технологічного процесу та є основою для подальшого проектування принципів схем і вибору обладнання.

РОЗДІЛ 4

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Обґрунтування вибору датчиків

Для контролю тиску у ферментаторі доцільно застосувати датчик тиску VEGABAR 55, який широко використовується в обладнанні хімічної, харчової та фармацевтичної промисловості. Залежно від модифікації цей прилад може виконувати вимірювання надлишкового, абсолютного тиску, розрідження, а також рівня в апаратах. Він придатний для роботи з газами, парами та рідинами, у тому числі за умов підвищених температур [6].

Корпус перетворювача може виконуватися в одно- або двокамерному варіанті та виготовляється з пластику, алюмінію чи нержавіючої сталі. Доступні модифікації з підвищеним ступенем захисту IP68 (25 bar) та можливістю використання виносної електроніки.

Прилад може комплектуватися різними блоками електроніки:

- двопровідним виходом 4...20 mA або 4...20 mA / HART;
- цифровими інтерфейсами Profibus PA або Foundation Fieldbus.

Детальні технічні характеристики датчик тиску наведено в додатку Б, таблиці Б.1.

Для контролю циркуляції рідкого середовища у технологічній системі, де витрата змінюється в межах 0-21 м³/год, доцільно застосувати витратомір ИПРЭ-7-32. Даний прилад призначений для визначення об'ємної витрати та загального об'єму невибухонебезпечних рідин. Основні технічні характеристики наведені в додатку Б, таблиці Б.2 [7].

Витратомір ИПРЭ-7-32 виконує точний контроль об'ємної витрати рідини та накопиченого об'єму. Прилад оснащений зручним цифровим РК-дисплеєм, що дає можливість відображати миттєве значення витрати в м³/год, об'єм перекачаної рідини, а також час роботи. Окрім локальної індикації, витратомір підтримує обмін

інформацією з персональним комп'ютером або іншими системами керування через стандартний інтерфейс RS-232 [7].

Для контролю температури в технологічному процесі доцільно застосувати термопару типу ТСМУ-305-Н (100М), що належить до термоперетворювачів К-типу. Пристрій призначений для вимірювання температури різних робочих середовищ, у тому числі агресивних, з подальшим перетворенням виміряного значення у стандартний вихідний струмовий сигнал 4-20 мА, сумісний з більшістю промислових систем автоматизації [8].

Такі термоперетворювачі широко використовуються у теплоенергетиці, хімічній, металургійній та інших галузях промисловості, де необхідна висока надійність вимірювань та стійкість сенсора до впливу навколишнього середовища. Детальні технічні характеристики датчика температури наведено в додатку Б, таблиці Б.3.

Для вимірювання рівня продукту в резервуарах технологічної установки раціонально застосувати радарний рівнемір УЛМ-11, який забезпечує високу точність та стабільність вимірювань у широкому діапазоні умов. Цей прилад призначений для безконтактного контролю рівня як рідких, так і сипучих матеріалів, що робить його універсальним засобом для роботи у складних виробничих середовищах [9].

УЛМ-11 ефективно використовується для вимірювання рівня різних типів рідин від нафти, бензину та дизельного пального до кислот, лугів, спиртів та харчових продуктів. Крім того, він придатний для контролю рівня сипких матеріалів, таких як цемент, щебінь чи технічний вуглець. Завдяки високій точності та надійності прилад підходить для застосування у системах комерційного обліку та відповідальних вимірювальних комплексах, які потребують максимальної чутливості та повторюваності результатів [9].

Технічні характеристики цього датчика описані в додатку Б, таблиці Б.4.

Для контролю наявності полум'я у газових та рідкопаливних пальниках застосовується ультрафіолетовий датчик Siemens серії QRA53 / QRA55,

представлений у модифікаціях QRA53.C17, QRA53.C27, QRA53.D17, QRA53.D27, QRA55.C17, QRA55.C27 та QRA55.D27. Ці датчики призначені для надійного виявлення полум'я та контролю іскри підпалу, що дозволяє забезпечити стабільну та безпечну роботу системи горіння [10].

Моделі QRA53 та QRA55 обладнані зручним затиском для монтажу та працюють у постійно активному режимі, що необхідно для безперервного нагляду за станом полум'я. Датчики серії QRA сумісні з автоматами керування пальниками Siemens типу LGK16 ..., LGI16 ..., у складі яких вони виконують функції:

- фотоелектричне тестування під час роботи;
- контроль полум'я у режимі безперервного підсвічування;
- дискретний вихід;
- виявлення розпалювальної іскри.

Багатоваріантність встановлення та надійний захист роблять ультрафіолетові датчики Siemens серії QRA оптимальним вибором для промислових пальників, де потрібні висока точність, швидкодія та безперервний контроль полум'я [10].

4.2 Обґрунтування вибору виконавчих механізмів

Для забезпечення надійного дистанційного керування потоком рідин чи газів у технологічних лініях застосовується електромагнітний клапан ODE 31L2A1V30. Цей клапан виготовлений з нержавіючої сталі, що гарантує стійкість до корозії й довговічність, а також підвищену витривалість при експлуатації у складних і агресивних технологічних середовищах [11].

Завдяки компактності та матеріалу виготовлення, клапан добре підходить для установки у монтажні вузли з обмеженим простором або високими вимогами до стійкості до агресивних середовищ, що актуально для виробництва добрив, хімічних реакцій, транспортування кислот/розчинів або інших промислових задач [11]. Характеристики клапана у розширеному вигляді наведено в додатку Б, таблиці Б.5.

Для керування приводами, зокрема електроклапанами та невеликими двигунами у технологічній системі, обрано контактор КММ11801 18 А 24 В/АСЗ 1NC. Цей пристрій виконує роль керованого комутаційного елементу: під дією керуючого сигналу (24 В) контактор перемикає силові контакти, забезпечуючи або припиняючи подачу живлення на виконавчий механізм [12].

Характеристики контактора у розширеному вигляді наведено в додатку Б, таблиці Б.6.

4.3 Обґрунтування вибору контролера

З огляду на кількість сигналів, що надходять від датчиків контролю технологічних параметрів, а також на необхідність передавання керуючих команд до виконавчих механізмів, для автоматизації процесу виробництва сульфоамофосу доцільно застосувати мікроконтролер серії ADAM-4000 від компанії Advantech. Використання цього контролера забезпечує підвищення стабільності та точності роботи системи, сприяє збільшенню ресурсу обладнання, оптимізує продуктивність технологічної лінії, покращує якість кінцевого продукту та знижує споживання енергоресурсів, що позитивно впливає на собівартість виробництва [13].

Датчики температури, рівня та тиску формують уніфікований аналоговий вихідний сигнал у діапазоні 4-20 mA, тому для збору таких даних доцільно використовувати універсальний восьмиканальний модуль аналогового вводу ADAM-4017 (характеристики в додатку В, таблиці В.1). Цей модуль забезпечує точне перетворення сигналів від різних вимірювальних елементів та їх надійну передачу до контролера для подальшої обробки та керування технологічним процесом [14].

Для обробки дискретних сигналів, що надходять від вимикачів, кінцевих датчиків, датчиків стану та інших двопозиційних пристроїв, а також для формування керуючих команд на електроклапани чи реле, у системі автоматизації доцільно застосувати модуль дискретного введення/виведення ADAM-4050

(характеристики в додатку В, таблиці В.2) [15].

Цей модуль забезпечує надійне зчитування логічних рівнів та формування дискретних керуючих сигналів, що дозволяє інтегрувати до системи широкий спектр виконавчих і контрольних елементів. Використання ADAM-4050 підвищує гнучкість і масштабованість автоматизованої системи, спрощує підключення обладнання та забезпечує стабільну роботу дискретних каналів у промислових умовах [15].

Для забезпечення надійного обміну даними між контролерами автоматизованої системи та головним комп'ютером доцільно застосувати модуль перетворення інтерфейсів RS-232 у RS-422/485 ADAM-4520 (характеристики в додатку В, таблиці В.3) [16].

Завдяки використанню цього пристрою стає можливим передавання інформації на значні відстані з високим рівнем завадостійкості, що особливо важливо в умовах промислового середовища. ADAM-4520 виконує функцію проміжної ланки між обладнанням, яке працює з інтерфейсом RS-232, і сучасними мережами, що використовують стандарти RS-422 або RS-485, забезпечуючи стабільний та безпечний зв'язок у складі автоматизованої системи керування [16].

Висновки до розділу 4

У результаті проведеного аналізу та технічного обґрунтування було сформовано комплекс засобів автоматизації, оптимально придатних для контролю та керування технологічним процесом виробництва сульфоамофосу. На основі вимог до точності, швидкодії, надійності та стійкості до агресивних середовищ обрано датчики фізичних параметрів, виконавчі пристрої та контролерну частину системи.

Для вимірювання основних параметрів тиску, температури, рівня та витрат підібрано сучасні промислові датчики, що забезпечують високу точність та стабільність роботи: тискові перетворювачі VEGABAR 55, витратоміри ИПРЭ-7-

32, термомпари ТСМУ-305-Н та радарний рівнемір УЛМ-11. Ці пристрої мають необхідні діапазони вимірювання, клас точності, захисні характеристики та відповідають умовам експлуатації технологічної лінії.

Як виконавчі елементи обрано електромагнітні клапани Rain 1" ZR 24AC, ODE 31L2A1V30, а також контактор КММ11801 для комутації електричних навантажень. Застосування цих елементів забезпечує надійне перемикання потоків реагентів, стабільну роботу приводів та безпечне керування силовими каналами у складі автоматизованої системи.

У ролі контролера та модулів збору сигналів використано мікроконтролерну платформу Advantech ADAM серій 4000-4500, зокрема модулі ADAM-4017, ADAM-4050 та інтерфейсний перетворювач ADAM-4520. Такий вибір дозволяє ефективно інтегрувати всі вимірювальні та виконавчі пристрої у єдину систему, забезпечуючи стабільний обмін даними, надійність і масштабованість.

РОЗДІЛ 5

ОБґРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

5.1 Опис принципової електричної схеми підключення датчиків та виконавчих елементів до контролера

Для збору та обробки аналогових сигналів від датчиків температури, рівня і тиску застосовано універсальні восьмиканальні модулі введення ADAM-4017. Оскільки загальна кількість сенсорів із уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА становить 13 одиниць, для коректної роботи системи необхідно використати два такі модулі. Підключення датчиків здійснюється за двопровідною схемою безпосередньо до вхідних каналів модулів.

Перший модуль ADAM-4017 використовується для підключення датчиків витрати та температури: FE 1-1 та FE 2-1 подаються відповідно на входи Vin0 і Vin1, FE 3-1 на Vin2, FE 4-1 на Vin3. Датчики температури TE 5-1 і TE 7-1 встановлюються на канали Vin4 і Vin5, а сигнали від перетворювачів витрати FE 8-1 та температури TE 9-1 надходять на Vin6 та Vin7 відповідно.

Другий модуль ADAM-4017 призначено для приймання сигналів від датчиків PE 10-1, PE 11-1, LE 12-1, TE 13-1 і LE 15-1, які підключаються послідовно до входів Vin0...Vin4.

Для формування керуючих дискретних команд на пускачі та електромагнітні клапани застосовано восьмиканальні модулі дискретного введення/виведення ADAM-4050. Оскільки система містить 12 виконавчих механізмів, необхідно встановити два таких модулі.

До першого ADAM-4050 під'єднуються пускові пристрої NS 1-3, NS 2-3, NS 3-3, NS 4-3, NS 6-1, NS 16-1, NS 8-3, NS 10-5, які підключаються на виходи DO0...DO7 відповідно.

Другий ADAM-4050 використовується для підключення пускачів NS 12-3, NS 12-5, NS 14-1, NS 15-3, що підводяться до виходів DO0...DO3. Крім того, на дискретний вхід DI першого модуля ADAM-4050 подається сигнал

від датчика наявності полум'я BS 13-7, що дозволяє контролювати роботу камери згоряння. Крім того, на дискретний вхід DI першого модуля ADAM-4050 подається сигнал від датчика наявності полум'я BS 13-7, що дозволяє контролювати роботу камери згоряння.

Третій ADAM-4050 використовується для підключення пускачів NS 5-3, NS 7-3, NS 9-3, NS 10-3, NS 11-3, NS 13-3, NS 13-5, що підводяться до виходів DO0...DO6.

Для зв'язку головного комп'ютера з мережею контролерів застосовується перетворювач інтерфейсів ADAM-4520, який забезпечує конвертацію сигналів RS-232 у формат RS-422/485.

5.2 Розрахунок та вибір блока живлення

Для забезпечення стабільної роботи модулів системи автоматизації необхідно правильно підібрати блок живлення, який здатний забезпечити потрібну потужність і необхідний запас по струму. Живлення всіх модулів ADAM здійснюється від напруги 24 V DC, тому першочерговим завданням є визначення сумарного енергоспоживання обладнання. У системі використовуються такі модулі ADAM-4017(2 шт.), ADAM-4050 (3 шт.), ADAM-4520(1 шт.).

На основі технічної документації відомо, що:

- ADAM-4017 споживає 1,2 Вт;
- ADAM-4050 споживає 0,4 Вт;
- ADAM-4520 споживає 1,2 Вт.

Загальна потужність:

$$P_{\text{заг}} = 2,4 + 1,2 + 1,2 = 4,8 \text{ Вт.}$$

Розрахунок струму:

$$I = P / U = 4,8 / 24 \approx 0,2 \text{ А.}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу 1,5:

$$I_{\text{розр}} = 0,2 \times 1,5 = 0,3 \text{ А.}$$

Таким чином, для стабільної роботи всієї системи необхідний мінімальний струм живлення на рівні 0,3 А при напрузі 24 V DC. З огляду на це було обрано блок живлення OMRON S8JX-G15024C, який забезпечує значний запас по струму та повністю відповідає технічним вимогам системи автоматизації (характеристики в додатку Г, таблиці Г.1) [16].

Окрім покриття поточного навантаження модулів ADAM, вибір більш потужного блока живлення дає можливість урахувати споживання підключених датчиків і створює резерв для подальшого розширення системи, наприклад додавання нових модулів, виконавчих пристроїв чи елементів моніторингу. Такий підхід гарантує довготривалу надійність роботи та зменшує потребу у заміні або модернізації блока живлення в майбутньому.

Висновок до розділу 5

Виконано обґрунтоване підключення датчиків і виконавчих елементів до модулів контролера та проведено необхідні розрахунки для вибору блока живлення. З урахуванням кількості сигналів та їхніх характеристик побудовано оптимальну схему інтеграції: аналогові давачі підключено через модулі ADAM-4017, а дискретні виконавчі механізми через ADAM-4050. Для забезпечення надійного обміну даними використано інтерфейсний перетворювач ADAM-4520, що гарантує стійкість комунікації у промислових умовах.

На основі сумарного енергоспоживання модулів визначено, що система потребує мінімального струму 0,3 А при 24 V DC. З урахуванням можливого розширення та підключення додаткових елементів обрано блок живлення OMRON S8JX-G15024C, який має значний запас по струму та забезпечує стабільну роботу всієї підсистеми автоматизації.

Зроблені технічні рішення забезпечують надійність, точність та масштабованість автоматизованої системи керування.

РОЗДІЛ 6

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

6.1 Розробка алгоритму функціонування системи управління

Алгоритм роботи системи починається з контролю витрат ЕФК, каталізатора, сірчаної кислоти, абсорбційної рідини та аміаку. Зчитування параметрів здійснюється з давачів FE 1-1, FE 2-1, FE 3-1 та FE 4-1. Після досягнення встановлених технологічних значень активуються відповідні пускачі NS 1-3, NS 2-3, NS 3-3 та NS 4-3, що забезпечує подачу реагентів у заданих об'ємах.

Аміак, який надходить у трубчастий реактор, попередньо охолоджується за допомогою контуру регулювання TE 5-1 та NS 5-3. Далі у реакторі здійснюється інтенсивне перемішування суміші, яке забезпечується мішалкою, що приводиться в дію електродвигуном, що керується пускачем NS 6-1.

Після цього система перевіряє рівень у нейтралізаторі за сигналом від датчика LE 15-1. Коли рівень досягає встановленої позначки, подача компонентів припиняється шляхом закривання клапана 15-4 через керуючий сигнал пускача NS 15-3.

Температурний режим нейтралізатора підтримується контуром управління TE 7-1 та NS 7-3, що дозволяє забезпечити стабільність хімічної реакції.

Для забезпечення необхідного ступеня випаровування аміаку система контролює температуру у випарнику за даними давача TE 9-1. Якщо температура є нижчою за розрахункову, подається команда на нагрівальний елемент через пускач NS 9-3.

Далі випарений аміак під тиском подається до реактора-нейтралізатора. Коректність тиску в лінії контролюється контуром PE 10-1 та NS 10-3. Одночасно з цим у реактор подається пульпа, витрата якої підтримується за показами давача FE 8-1 та пускача NS 8-3.

Суміш із реактора-нейтралізатора поступає до гранулятора. Рівень у ньому контролюється контуром LE 12-1 та NS 12-3, а тиск повітря, необхідний для

розпилення розчину контурами PE 11-1 та NS 11-3.

На виході з теплогенератора здійснюється контроль температури повітря, що надходить до сушильного барабана. Датчик TE 13-1 фіксує фактичне значення температури, і при її відхиленні від встановленого параметра відбувається автоматичне коригування подачі палива через пускач NS 13-3, що забезпечує стабільний режим сушіння.

6.2 Розробка програмного забезпечення програмованого логічного контролера

Для створення програми керування обрано програмне середовище AdamView, яке забезпечує зручні інструменти для роботи з модулями сімейства ADAM та реалізації логіки автоматизації. Отримання значень від аналогових давачів здійснюється за допомогою функціональних блоків AI, тоді як для обробки сигналів дискретного типу застосовуються блоки DI.

Логічна послідовність роботи обладнання та умови спрацьовування окремих елементів формуються у блоці SCR, де програмний код описується мовою Basic Script. Усі керуючі сигнали на виконавчі механізми, клапани та пускачі подаються через блоки дискретного виходу DO, а для формування аналогових керуючих дій використовується блок AO.

Для підключення аналогових давачів температури TE 5-1, TE 7-1, TE 9-1 та TE 13-1 використовуються канали AI0, AI1, AI2 та AI3 відповідно. Після налаштування каналів у середовищі AdamView у блоці BasicScript описується алгоритм обробки даних від датчиків, формування керуючих впливів та логіка взаємодії між елементами системи. Скрипти наведені в додатку Д, лістинги Д.1, Д.2, Д.3 та Д.4.

Для подальшого зчитування інформації щодо витрати реагентів до каналів AI4, AI5, AI6, AI7 та AI8 підключаються відповідні датчики витрати FE 1-1, FE 2-

1, FE 3-1, FE 4-1 та FE 6-1. Скрипти наведені в додатку Д, лістинги Д.5, Д.6, Д.7, Д.8 та Д.9.

До каналів AI9 та AI10 під'єднуються датчики рівня LE 12-1 та LE 15-1, які забезпечують безперервний контроль заповнення відповідних технологічних апаратів. Скрипти наведені в додатку Д, лістинги Д.10 та Д.11.

До AI11 та AI11 підключаємо датчики тиску PE 5-1, PE 7-1. Скрипти наведені в додатку Д, лістинги Д.12 та Д.13.

До DI0 підключаємо датчик наявності полум'я VE 13-8. Скрипт наведений в додатку Д, лістинг Д.14.

Висновок до розділу 6

У процесі розробки програмного забезпечення автоматизованої системи керування було сформовано повний алгоритм роботи технологічного обладнання, що охоплює контроль витрат, температури, тиску, рівня та керування виконавчими механізмами. Логічна структура алгоритму забезпечує узгоджену взаємодію між усіма елементами системи, своєчасну реакцію на зміну параметрів та дотримання технологічних режимів.

У середовищі AdamView реалізовано програмну частину, що включає обробку аналогових і дискретних сигналів, формування керуючих впливів та відображення стану системи.

РОЗДІЛ 7
СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА
РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ
ТЕМПЕРАТУРИ АМІАКУ НА ВИХІД ТЕПЛООБМІННИК

7.1 Постановка задачі

Під час вибору системи керування важливо враховувати структуру регулятора та спосіб отримання інформації про перебіг процесу регулювання температури аміаку на виході теплообмінника. У керуванні використовують два типи інформації: робочу, яку отримують безпосередньо в процесі роботи за допомогою датчиків, та апріорну – це попередні відомості про характеристики об'єкта, динаміку процесу та можливі збурення. Ці знання застосовуються під час створення системи, експериментальних досліджень або налагодження обладнання. Саме співвідношення робочої та апріорної інформації визначає можливість використання різних принципів керування [17].

Системи керування можуть працювати за принципом компенсації збурень або за принципом відхилення. Компенсаційний підхід потребує точного знання характеристик об'єкта та збурень, тому є складним у реалізації, особливо якщо параметри змінюються з часом. Натомість управління за відхиленням ґрунтується на порівнянні фактичного значення температури з заданою величиною та формуванні коригувального впливу у разі виникнення відхилення. Оскільки збурення у вигляді зміни витрати аміаку чи його температури на вході не вимірюються, для стабілізації температури аміаку на виході випарника доцільно застосувати саме систему автоматичного регулювання за відхиленням, що забезпечує потрібну точність і стійкість роботи теплообмінника [17].

Ефективність роботи теплообмінника визначається тим, наскільки точно підтримується температура аміаку на його виході. Оскільки основні збурювальні чинники це зміна витрати аміаку та температури на вході не підлягають прямому

вимірюванню, для стабілізації вихідної температури доцільно застосувати систему автоматичного регулювання за принципом відхилення (рис. 7.1).

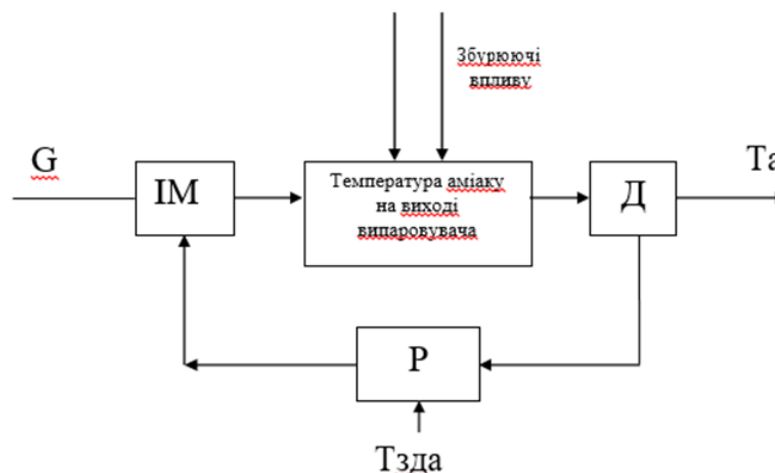


Рисунок 7.1 – Структура системи регулювання температури аміаку на виході випарника

Керованим об'єктом виступає теплообмінник, у якому регульованим параметром є температура аміаку на виході. Впливи, що змінюють це значення (наприклад, коливання витрати або температури аміаку на вході), розглядаються як зовнішні збурення. Вимірювання температури здійснюється термоперетворювачем, який перетворює її у сигнал, придатний для передавання до системи керування.

Отриманий сигнал надходить до регулятора, де він порівнюється із заданим значенням. Величина відхилення після обробки відповідно до вибраного закону регулювання подається на виконавчий механізм – електричну засувку, що змінює витрату пари та, відповідно, температуру на виході теплообмінника.

Для системи регулювання встановлено такі основні вимоги: час перехідного процесу не більше 60 хв, допустиме перерегулювання до 8 °С, а статична похибка не повинна перевищувати 1 °С.

7.2 Одноконтурна автоматична система регулювання

Одноконтурна автоматична система регулювання включає об'єкт керування, вимірювальний перетворювач, регулятор та виконавчий механізм. На структурній схемі (рис. 7.2) об'єкт представлено передавальною функцією $W_o(p)$, яка відображає його динамічні властивості. Керованою величиною є температура аміаку на виході теплообмінника $T_{\text{вих}}$, а регулятор формує необхідну дію для забезпечення її відповідності заданому значенню $T_{\text{задвих}}$.

Динамічні параметри теплообмінника визначено шляхом аналізу його перехідної характеристики при ступінчастій зміні витрати рідкого аміаку на 8 т/год. У результаті зміна температури становила $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а отримана крива розгону подана на рисунку 7.3.

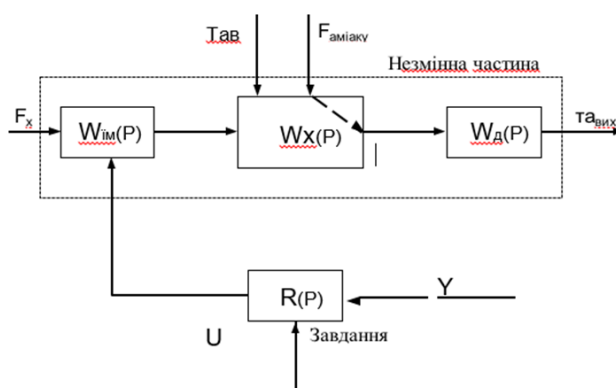


Рисунок 7.2 – Одноконтурна автоматична система регулювання

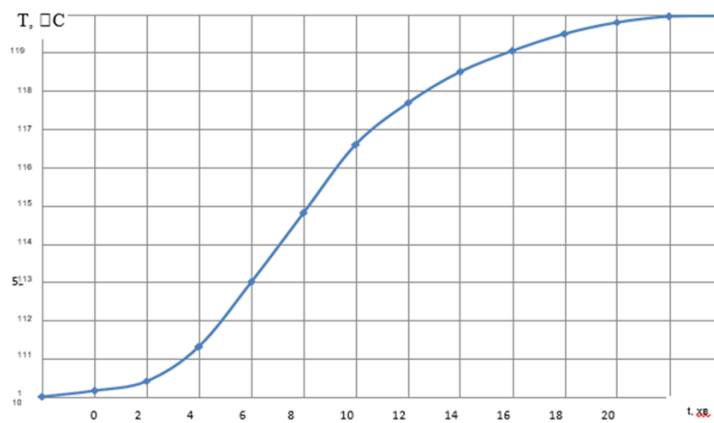


Рисунок 7.3 – Крива розгону теплообмінника

7.3 Розрахунок налаштувань регулятора методом Циглера - Нікольса і побудова перехідних процесів регулювання

Метод налаштування регулятора включає два основні етапи. На першому етапі визначають критичну частоту $\omega_{кр}$ та критичний коефіцієнт підсилення $S_{кр}$ для П-регулятора за умови, що система працює на межі стійкості (фазовий зсув дорівнює $-\pi$). На другому етапі шляхом використання поправочних коефіцієнтів розраховуються параметри П-, ПІ- та ПІД-регуляторів, які забезпечують необхідний ступінь загасання перехідного процесу ($\psi \approx 0,8-0,9$).

Умова роботи на межі стійкості задається рівняннями амплітуди та фази, що визначаються з передавальної функції об'єкта. Передавальна функція теплообмінника подається у частотній формі як добуток підсилювальної ланки, ланок першого порядку та ланки запізнювання. Амплітудно-частотні та фазові характеристики описуються через $A_0(\omega)$ та $\phi_0(\omega)$, що дозволяє визначити частоту, при якій фаза системи становить $-\pi$, а відповідна амплітудна характеристика забезпечує значення $S_{кр}$.

Обчислення критичної частоти $\omega_{кр}$, амплітуди $A_{кр}$ та параметра $S_{кр}$ було виконано на ЕОМ, а результати наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Критичні настройки регулятора

$\omega_{кр}$	$A_{кр}$	$S_{кр}$
0,158	0,004	251

Отримані установки П, ПІ, ПІД регуляторів зведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Розраховані значення налаштувань регуляторів

Тип регулятора	Налаштування		
	S1	S0	S2
П	151	-	-
ПІ	136	4,6	-
ПІД	181	11,5	746

7.4 Результати моделювання АСР

У результаті комп'ютерного моделювання були отримані перехідні характеристики системи для всіх трьох типів регуляторів П, ПІ та ПІД. Для кожного регулятора окремо досліджено реакцію на зміну керуючого сигналу, а також поведінку системи за наявності зовнішніх збурень. Таке моделювання дало змогу оцінити швидкодію, стійкість та точність регулювання залежно від вибраного алгоритму управління.

Побудовані графіки перехідних процесів при дії збурювальних впливів дозволяють порівняти ефективність різних типів регуляторів у реальних умовах роботи теплообмінника. Відповідні результати подані на рисунках 7.4, 7.5 та 7.6, де відображено характер відхилення вихідної температури, швидкість її повернення до заданого значення та ступінь перерегулювання для кожного режиму регулювання.

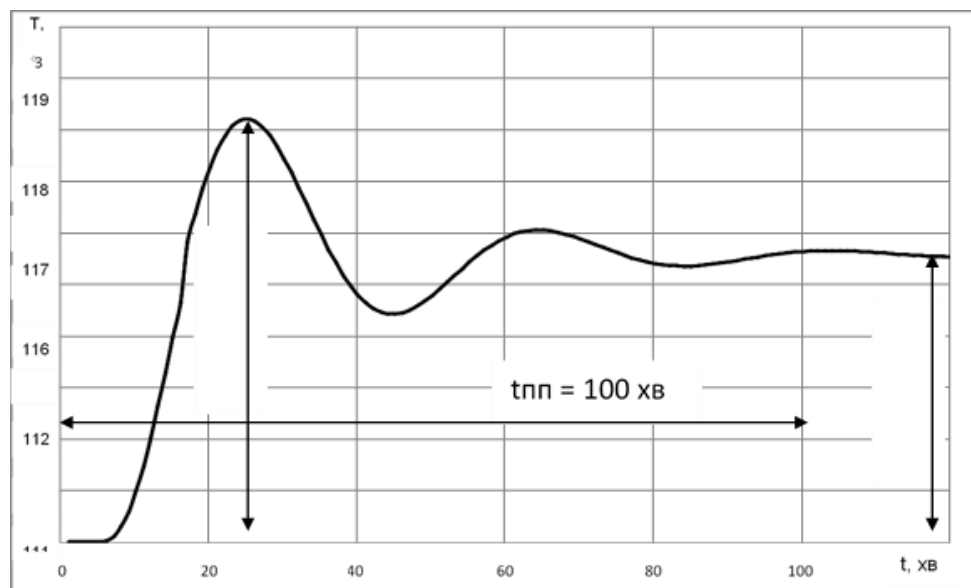


Рисунок 7.4 – Перехідний процес в системі автоматичного регулювання з П регулятором при впливі через збурення

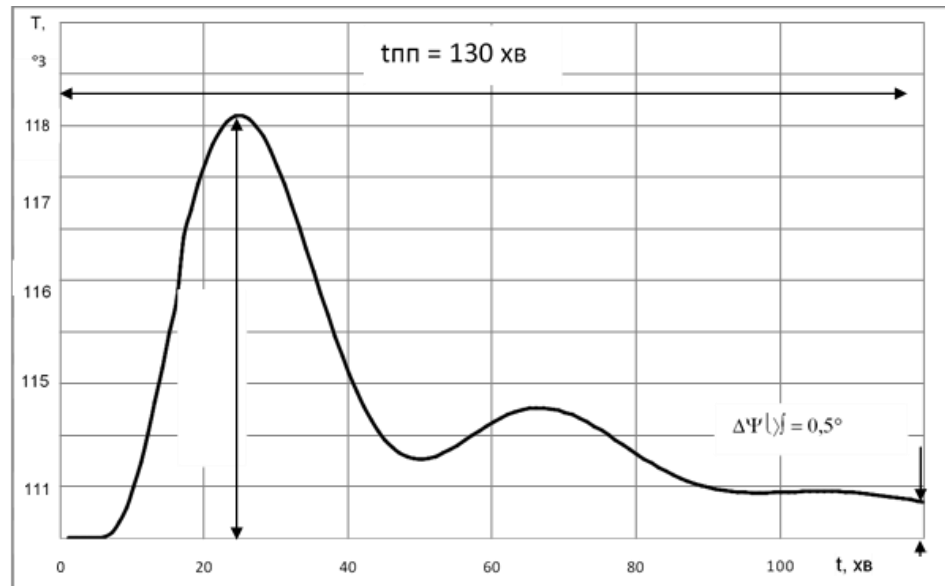


Рисунок 7.5 – Перехідний процес в системі автоматичного регулювання з ПІ регулятором при впливі через збурення

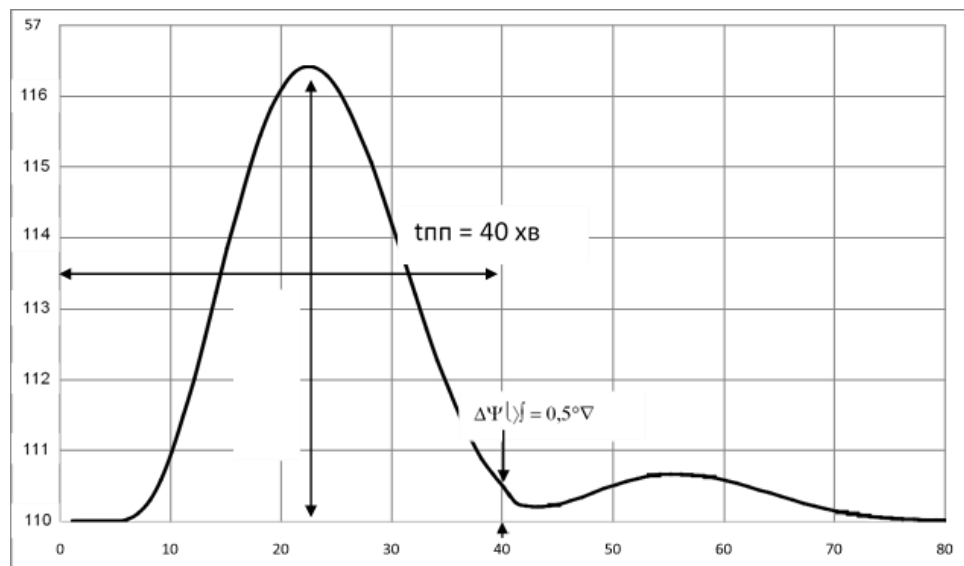


Рисунок 7.6 – Перехідний процес в системі автоматичного регулювання з ПІД регулятором при впливі через збурення

Показники якості ПП розташовані в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Показники якості перехідних процесів систем автоматичного регулювання при впливі через збурення

Тип регулятора	Показники якості			
	ΔY_{\max} , °C	t_p , хв	$\Delta Y_{\text{ост}}$, °C	$I_{\text{КВ}}$
П	8,2	100	5,7	37,0
ПІ	8,2	130	0,8	14,1
ПІД	6,4	40	0,7	7,2

На основі аналізу показників якості перехідних процесів (табл. 7.3) встановлено, що найефективніше працює система автоматичного керування з ПІД-регулятором. У цьому варіанті величина перерегулювання при діючих збуреннях не перевищує 8 °C, тривалість перехідного процесу становить менше 60 хвилин, а залишкове відхилення утримується в межах до 1 °C. З огляду на отримані результати, остаточно прийнято такі параметри налаштування регулятора: $S1 = 181$; $S0 = 11,5$; $S2 = 746$.

Висновок до розділу 7

Аналіз динаміки теплообмінника та моделювання різних типів регуляторів показали, що найкращу якість регулювання температури забезпечує ПІД-регулятор. Він демонструє мінімальне перерегулювання, швидкий перехідний процес і малу статичну похибку, що відповідає встановленим вимогам до системи.

Отримані параметри налаштування регулятора забезпечують стабільну та точну роботу автоматичної системи, підтверджуючи правильність обраного підходу до регулювання температури аміаку на виході теплообмінника.

РОЗДІЛ 8

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЩИТІВ, ПУЛЬТІВ І ЗАСОБІВ МОНТАЖУ

Щити систем автоматизації повинні відповідати вимогам ДСТУ 3244-90 та встановлюватися у приміщеннях із температурним діапазоном від $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ за умови, що відносна вологість не перевищує 80 %, а також відсутні вібрації, агресивні гази, пари та струмопровідний пил [18].

Місцеві щити виконуються у герметичних корпусах, що забезпечує захист внутрішніх елементів від вологи та пилу. Їх розташовують поблизу технологічного обладнання, але не обов'язково на одному рівні з ним. Усі місцеві щити повинні мати зручний доступ для обслуговування, бути добре освітленими та встановленими у безпечних зонах.

У центральному пункті керування щити та операторські пульти рекомендується групувати за технологічними ділянками та функціональними блоками, а також прагнути до мінімізації довжини кабельних та трубних трас [18].

Під час монтажу приладів на щиті враховують зручність роботи персоналу, технічні характеристики обладнання та вимоги безпеки. Необхідно забезпечити дотримання мінімально допустимих відстаней між приладами, щоб була можливість безперешкодно відкривати їхні кришки. Крім того, при встановленні конструктивних елементів, кабелів та внутрішніх вузлів слід враховувати габарити виступаючих частин приладів, щоб уникнути їхнього пошкодження та забезпечити правильне кріплення [18].

У операторському приміщенні встановлено панельний щит у шафовому виконанні ЩШМ 1800x900x600.

У середині щита, на монтажних DIN-рейках, встановлено основне обладнання, необхідне для роботи системи автоматизації [18]. До його складу входять:

– модулі контролера серії ADAM-4000, що виконують функції збору даних, обробки сигналів та керування виконавчими механізмами;

- 23 контакторів, які забезпечують запуск та зупинку електричних механізмів і клапанів;
- блок живлення, що подає стабілізовану напругу на всі модулі та прилади;
- набори комутаційних клем, які забезпечують зручне та впорядковане підключення зовнішніх сигнальних і силових ліній;
- захисні запобіжники, що запобігають перевантаженню та коротким замиканням;
- технічна розетка для підключення сервісного обладнання;
- внутрішні освітлювальні лампи, які полегшують обслуговування щита.

На передніх дверцятах щита розташовано елементи оперативного керування:

- головний рубильник, що забезпечує централізоване вмикання та вимикання всієї автоматизованої системи;
- 2 індикаторнаі лампи сигналізації;
- індикаторна лампа, яка сигналізує про наявність живлення та робочий стан щита.

Таке компонування апаратури гарантує зручність технічного обслуговування, надійність монтажу та дотримання вимог електробезпеки й стандартів промислової автоматизації.

Висновок до розділу 8

Оптимальне компонування обладнання в щиті автоматизації забезпечило компактність, зручність обслуговування та відповідність вимогам безпеки. Розміщення модулів ADAM-4000, реле, пускачів і захисної апаратури на DIN-рейках гарантує надійну роботу системи. Органи керування та індикація на дверцятах підвищують зручність експлуатації, а продумана організація комутаційних елементів сприяє безпечній і стабільній роботі всієї установки.

РОЗДІЛ 9

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Забезпечення належних умов охорони праці є одним із ключових аспектів експлуатації автоматизованої системи керування виробництвом сульфоамофосу. Технологічний процес пов'язаний з роботою з високотоксичними реагентами, підвищеними температурами, тиском та електротехнічним обладнанням, що потребує особливої уваги до правил безпеки та технологічної дисципліни.

Приміщення, у яких встановлене обладнання та система керування, повинні відповідати вимогам безпечної експлуатації: забезпечувати оптимальний мікроклімат, стабільну вентиляцію та відсутність агресивних середовищ. Поверхні мають бути виконані з неслизьких матеріалів, а робочі місця добре освітлені згідно з діючими нормами. Такі умови сприяють зниженню ризику травмування та підвищують ефективність роботи персоналу [19].

Особливу увагу приділяють електробезпеці, адже система використовує мережеву та низьковольтну напругу. Усі металеві корпуси обладнання під'єднуються до захисного заземлення, а електроживлення проходить через автоматичні вимикачі та захисну апаратуру. Використання джерел живлення 24 В DC для частини обладнання значно підвищує безпеку персоналу. Працівники, які мають доступ до електрообладнання, повинні володіти відповідною кваліфікацією та проходити регулярні інструктажі [19].

У технологічному процесі активно застосовуються хімічні реагенти аміак, фосфорна та сірчана кислоти, що належать до небезпечних речовин. Через це персонал зобов'язаний користуватися засобами індивідуального захисту: спецодягом, рукавицями, захисними окулярами та респіраторами. Для контролю рівня концентрації шкідливих газів у приміщеннях встановлюють газові датчики. У разі аварійної ситуації працівники повинні діяти відповідно до інструкцій та негайно залишати небезпечну зону.

Пожежна безпека забезпечується наявністю системи сигналізації, вогнегасників відповідних типів, підтриманням вільних шляхів евакуації та регулярною перевіркою протипожежного обладнання. Забороняється використання відкритого вогню, а персонал проходить навчання щодо дій у разі пожежі чи займання технологічного обладнання [19].

Організація робочого місця оператора спрямована на зручність та мінімізацію ризиків: щити керування розташовуються на оптимальній висоті, індикатори та елементи керування у зоні легкого доступу, а освітлення забезпечує комфортну роботу без додаткових навантажень на зір. Таке планування дає можливість своєчасно реагувати на зміни технологічних параметрів і приймати правильні рішення [19].

Система захисного заземлення виконується відповідно до нормативних вимог та забезпечує допустимий опір контуру. До заземлення підключають шафи керування, модулі контролера ADAM, реле, пускачі та інші металеві частини системи. Використовуються провідники відповідного перерізу, що гарантують надійний захист персоналу від ураження електричним струмом.

Для підтримання справного стану всієї системи передбачено регулярне технічне обслуговування, перевірку датчиків і виконавчих механізмів, діагностику контролера та аналіз аварійних подій. Важливе значення має працездатність датчиків полум'я та газоаналізаторів, які забезпечують раннє виявлення небезпечних ситуацій і дають змогу запобігти аваріям.

Висновок до розділу 9

Розглянуті заходи з охорони праці підтверджують, що безпечна експлуатація автоматизованої системи керування виробництвом сульфоамофосу можлива лише за умови дотримання встановлених нормативів та правил. Аналіз вимог до приміщень, електробезпеки, роботи з хімічними речовинами, пожежного захисту та організації робочих місць дозволив визначити комплекс необхідних технічних і

організаційних рішень, які забезпечують мінімізацію професійних ризиків та підвищують рівень захисту персоналу. Реалізація запропонованих заходів сприяє надійній, безпечній та стабільній роботі всієї системи автоматизації, попереджає виникнення аварійних ситуацій та забезпечує відповідність сучасним стандартам промислової безпеки.

РОЗДІЛ 10

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Об'єктом проектування є автоматизована система керування технологічним процесом отримання сульфоамофосу. У межах цього дипломного проекту передбачено використання сучасних засобів промислової автоматизації, які забезпечують стабільність хіміко-технологічних процесів, підвищують якість кінцевого продукту та сприяють зменшенню енерговитрат. Автоматизація дає змогу точно підтримувати витрати компонентів, температурні режими, тиск і рівні у технологічних апаратах, що є критично важливим для роботи нейтралізатора, випарника, гранулятора, сушильного барабана та допоміжного обладнання.

З метою оцінки фінансових витрат на впровадження системи автоматизації проведено підбір необхідної апаратури датчиків, модулів збору даних, виконавчих механізмів, пускачів, контролерів та допоміжних пристроїв. Для формування кошторису вартості обладнання всі підібрані елементи системи управління зведено в порівняльну таблицю Е.1 додатку Е, що дає змогу узагальнити й проаналізувати капітальні вкладення, необхідні для реалізації автоматизованої системи керування виробництвом сульфоамофосу.

На основі таблицю Е.1 додатку Е, визначено, що вартість контрольно-вимірювальних приладів (V_{Π}) становить 267595 грн.

Для визначення додаткових витрат, пов'язаних із закупівлею контрольно-вимірювальних та регулюючих приладів, приймаємо, що транспортно-заготівельні витрати становлять 20 % від їх вартості $V_{Т-З}$ [20]:

$$V_{Т-З} = 267595 * 0,2 = 53519 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення монтажних робіт та придбання матеріалів для встановлення системи автоматизації розраховуємо як 35 % від загальної вартості обладнання.

Витрати на монтаж системи автоматизації V_M і матеріали для монтажу приймаються в розмірі 35 % від значення V_{Π} [20]:

$$V_M = 267595 * 0,35 = 93658,25 \text{ грн.}$$

Крім цього, враховуються витрати на пусконаладжувальні роботи. Приймаємо їх на рівні 15 % від сукупної вартості засобів автоматизації, що складає:

$$V_H = 267595 * 0,15 = 40139,25 \text{ грн.}$$

Отже, загальні капітальні інвестиції на впровадження системи автоматизації включають вартість закупленого обладнання, витрати на його транспортування, монтаж, а також налагодження, і визначаються сумуванням усіх перелічених складових.

$$V_K = V_{\Pi} + V_{T-3} + V_M + V_H = 267595 + 53519 + 93658,25 + 40139,25 = 454911,5 \text{ грн.}$$

Висновок до розділу 10

Проведений економічний аналіз витрат, необхідних для впровадження системи автоматизації процесу виробництва сульфоамофосу, дав можливість визначити повний обсяг фінансових ресурсів, потрібних для реалізації проекту. До розрахунку включено вартість контрольно-вимірювальних приладів, модулів контролера, виконавчих елементів, а також витрати на транспортування, монтаж та налагодження. Загальні капітальні витрати на автоматизацію виробничих процесів становлять 454911,5 грн, що є обґрунтованою інвестицією для забезпечення стабільної та якісної роботи технологічної лінії.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота магістра виконана відповідно до поставлених цілей, спрямованих на створення сучасної автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва сульфоамофосу. У ході дослідження досягнуто таких результатів:

- проведено детальний розгляд технологічного процесу виробництва сульфоамофосу, визначено ключові параметри контролю та сформульовано вимоги до системи автоматизації на різних етапах технологічного циклу;

- виконано аналіз технологічного процесу як об'єкта керування. Досліджено характеристики нейтралізатора та випарника, виявлено збурюючі впливи та визначено їх значення для стабільності системи;

- розроблено функціональну схему автоматизації та визначено оптимальне розташування датчиків, регулюючих клапанів, пускачів та іншого допоміжного обладнання;

- обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації: сучасних датчиків температури, тиску, рівня та витрати, частотних перетворювачів, електродатчиків, пускачів, а також модулів контролера сімейства ADAM, що забезпечують точність і надійність керування;

- сформовано та розраховано систему автоматичного регулювання температури аміаку на виході теплообмінника. Визначено оптимальні параметри PID-регулятора, що гарантують якісні та стійкі перехідні процеси;

- розроблено електричну схему підключення датчиків і виконавчих механізмів до контролера та проведено детальний розрахунок блока живлення з урахуванням резерву потужності;

- створено алгоритм роботи системи та реалізовано програмне забезпечення у середовищі AdamView, що забезпечує стабільне функціонування, обробку сигналів і формування керуючих дій;

- спроектовано щит керування з раціональним розміщенням модулів ADAM, пускачів, реле та захисних елементів, що забезпечує зручність обслуговування й відповідність вимогам техніки безпеки;

- розглянуто заходи з охорони праці, виконано розрахунок системи заземлення та освітлення, що гарантує безпечну роботу персоналу та надійність експлуатації обладнання;

- проведено економічне обґрунтування впровадження системи автоматизації та встановлено, що річний економічний ефект становить 84598,7 грн, що підтверджує ефективність запропонованих технічних рішень.

Таким чином, у магістерській роботі успішно вирішено поставлені задачі. Реалізація розробленої автоматизованої системи дає змогу підвищити надійність, безпеку та результативність виробництва сульфоамофосу, забезпечує покращення якісних показників продукції й зменшення ресурсних втрат.

На основі проведених досліджень та розробленої системи автоматизованого керування було підготовлено й оприлюднено наукову публікацію Цьома О. В., Федік Л. Ю., Смолянкін О. О. Автоматизація технологічного процесу виробництва сульфоамофосу. XIII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління». Луцьк. ЛНТУ. 2025. С.32-37.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абідов І., Абідов С., Гріну Н. Технологія отримання аммофосу, модифікованого фізіологічно активними речовинами. *Хімічна технологія*. Київ: НУХТ. 2020. № 11(77). С. 19-21.
2. Guelfi D., Rodrigues M., Crusciol C. A. C. Innovative phosphate fertilizer technologies to improve agronomic efficiency // Sustainability. Basel : MDPI, 2022. Vol. 14, No. 21. Art. 14266.
3. Шилова Н. В., Воронова М. І., Сметанін О. О. Фізико-хімічні властивості аммофосфату, отриманого на основі збідненого фосфатного сировини. Київ: МЦНП «Universum» : Технічні науки. 2024. № 7. 101-106 с.
4. Сульфоаммофос – комплексний вид сільськогосподарського добрива. Soda.kiev.ua. 07.09.2023. URL: <https://soda.kiev.ua> (дата звернення: 15.09.2025).
5. Цьома О. В., Федік Л. Ю., Смолянкін О. О., Маркіна Л. М. Автоматизація технологічного процесу виробництва сульфоаммофосу. XIII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління». Луцьк: ЛНТУ. 2025. С.32-37.
6. Датчик тиску VEGABAR 55 URL: https://www.koda.ua/ukr/products/desc.html?id=730&utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 10.10.2025).
7. Витратомір ИПРЭ-7-32 URL: <https://avaks.com.ua/ua/p1423436843-rashodomery-pervichnye-preobrazovateli.html> (дата звернення: 10.10.2025).
8. Термопара типу ТСМУ-305-Н URL: https://aqteck.ua/ua/datchyky/datchyky-temperatury/termoperetvorjuvachi-zi-strumovym-vyhodom-4-20-ma?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 10.10.2025).
9. Радарний рівнемір УЛМ-11 URL: <https://priborhub.com/shop/priborkhab/ulm-11-urovнемery-radarnye-beskontaktnye> (дата звернення: 10.10.2025).
10. Датчик контролю наявності полум'я QRA53 URL: https://electrotechnics.com.ua/ua/p785117329-datchik-plameni-siemens.html?utm_so

urce=chatgpt.com (дата звернення: 10.10.2025).

11. Електроклапан ODE 31L2A1V30 URL: <https://hydromarket.com.ua/ua/p709125636-31l2a1v30-klapan-solenoidnyj.html?srsltid=AfmBOoptOK110T-Q0M3PHq741SZLY4QSbOYhcgM2ahoxCl8PtIDLf8w> (дата звернення: 10.10.2025).

12. Контакттор KMM11801 18 A 24 B/AC3 1NC URL: <https://www.el-tech.com.ua/releine-obladnannya/kontaktori/kontaktor-kmm11801-18a-24v-as3-1nc/> (дата звернення: 10.10.2025).

13. Контролери серії ADAM-4000 від компанії Advantech URL: <https://www.rts.ua/catalog/advantech/20.htm> (дата звернення: 20.10.2025).

14. Модуль ADAM-4017 URL: https://www.proxis.ua/uk/product/8-ch-analog-input-module-advantech-ADAM-4017/?gad_source=1&gad_campaignid=22525073475&gbraid=0AAAAADpxF_vIP8sP1HjHsSqvL4uI0X9Yc&gclid=CjwKCAiAxc_JBhA2EiwAFVs7XO0rj0ihbBEMVG4Ad32qW1AC-h_c_kfrKj7k1DCTfOq-IK67l27O4hoCw2QQA_vD_BwE (дата звернення: 20.10.2025).

15. Модуль ADAM-4520 URL: https://www.proxis.ua/uk/product/ADAM-4520/?gad_source=1&gad_campaignid=22525073475&gbraid=0AAAAADpxF_vIP8sP1HjHsSqvL4uI0X9Yc&gclid=CjwKCAiAxc_JBhA2EiwAFVs7XFGvv0cwW2XXkZBQiQoBvSYUIjy1VKKCaJ8_Za5pF_euh0HNaT3i5BoC-qoQAvD_BwE (дата звернення: 20.10.2025).

16. Блок живлення OMRON S8JX-G15024C URL: <https://electrostore.prom.ua/ua/p2373984564-blok-pitaniya-omron.html> (дата звернення: 20.10.2025).

17. Дідик А. Ф., Клименко В. О. Теорія автоматичного керування : підручник. Київ : Кондор, 2021. 320 с.

18. Кравченко О. П., Дрозд І. М. Електричні апарати та щитові системи : навчальний посібник. Київ : Ліра-К, 2021. 280 с.

19. Желібо Є. П., Гандзюк М. П., Халімовський М. О. Основи охорони праці : підручник. Київ: Знання, 2023. 430 с.

20. Ковальська Л. Л., Кривов'язюк І. В. Економіка підприємства : підручник. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2020. 700 с.