

**Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет робототехніки та штучного інтелекту
Кафедра автоматизації та безпілотних систем**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДІЛЯНКОЮ
РОЗЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ДОБРИВ**

**AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE FILLING SECTION OF
THE FERTILIZER PRODUCTION PROCESS**

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АВз - 41
Присяжний Назарій Іванович

(підпис)

Керівник: к.с.-г.н., доцент
Сацик Віктор Олександрович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.

Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Решетило О. М.

(підпис)

Луцьк – 2026

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Ступінь вищої освіти: бакалавр
Галузь знань: 15 Автоматизація та приладобудування
Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ О. Ю. Повстяной
«__» _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

_____ Присяжного Назарія Івановича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Автоматизована система керування ділянкою розливу технологічного процесу виробництва добрив

керівник роботи _____ Сацик Віктор Олександрович, к.с.-г.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від " 31 " 12 2025 року N 307/01-04

2. Строк подання студентом роботи _____ 1.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи _____ технологічний процес виробництва добрив

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

_____ Аналіз об'єкта керування, Обґрунтування ФСА, Обґрунтування ТЗА, Обґрунтування та опис принципових електричних схем, Програмне забезпечення системи автоматизації, Розрахунок системи автоматичного керування на ділянці розливу. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Техніко-економічне обґрунтування

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

_____ Функціональна схема, схема електрична, алгоритм роботи контролера, програма роботи контролера

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Сацик В.О.		
Розділ 2	Сацик В.О.		
Розділ 3	Сацик В.О.		
Розділ 4	Сацик В.О.		
Розділ 5	Сацик В.О.		
Розділ 6	Маркіна Л.М.		
Розділ 7	Сацик В.О.		
Розділ 8	Сацик В.О.		
Нормоконтроль	Лапченко Ю.С.		
Показник запозичень тексту			
Академічна доброчесність	Лапченко Ю.С.		

7. Дата видачі завдання _____ 31.12.2025 р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

N з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів випускної кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Аналіз об'єкта керування	20.02.2026 р.	
2	Обґрунтування вибору функціональної схеми	10.03.2026 р.	
3	Обґрунтування вибору ТЗА	20.03.2026 р.	
4	Обґрунтування і опис принципових електричних схем	1.04.2026 р.	
5	Програмне забезпечення систем автоматизації	10.04.2026 р.	
6	Розрахункова частина	20.04.2026 р.	
7	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	25.04.2026 р.	
8	Техніко-економічне обґрунтування	1.05.2026 р.	
9	Оформлення роботи	1.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Присяжний Н. І. _____
(прізвище та ініціали)

Сацик В. О. _____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Присяжний Н. І. Автоматизована система керування ділянкою розливу технологічного процесу виробництва добрив. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, восьми розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Метою роботи є розробка та обґрунтування автоматизованої системи керування ділянкою розливу технологічного процесу виробництва добрив, що забезпечує стабілізацію технологічних параметрів процесу, підвищення якості готової продукції та підвищення ефективності роботи виробничої лінії.

Практична цінність роботи полягає у розширенні можливостей вимірювання та контролю процесу розливу рідких добрив, впровадженні алгоритмів регулювання витрати та рівня рідини, підвищенні точності дозування готової продукції, а також у підвищенні енергоефективності виробничої лінії.

Обсяг пояснювальної записки становить 70 друкованих сторінок. Об'єм графічної частини кваліфікаційної роботи складає 6 слайдів презентації.

Ключові слова: добрива, технологічні параметри, алгоритм, регулювання, ADAM-5000.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Присяжний Н. І.			Автоматизована система керування ділянкою розливу технологічного процесу виробництва добрив	Лім.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сацик В.О.					4	70
Н. контр.		Лапченко Ю.С				ЛНТУ, гр. АВз-41		
Затв.		Гуменюк Л.О.						

ANNOTATION

Prysazhnyi N. Automated control system for the liquid fertilizer filling section of the fertilizer production process. Manuscript.

Bachelor's qualification paper, educational program "Automation and computer-integrated technologies". Lutsk National Technical University, Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification paper consists of an introduction, seven chapters, conclusions, a list of references, and appendices.

The aim of the work is to develop and justify an automated control system for the liquid fertilizer filling section of the fertilizer production process, ensuring stabilization of process parameters, improvement of finished product quality, and increased efficiency of the production line.

The practical value of the work lies in expanding the measurement and monitoring capabilities of the liquid fertilizer filling process, implementing flow rate and liquid level control algorithms, improving the accuracy of finished product dosing, as well as increasing the energy efficiency of the production line.

The explanatory note comprises 70 printed pages. The graphic part of the qualification paper consists of 6 presentation slides.

Keywords: fertilizers, process parameters, algorithm, control, ADAM-5000.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	10
1.1 Опис та аналіз об'єкта керування	10
1.2 Перелік задач контролю та керування процесом	14
1.3 Критичний аналіз існуючої системи автоматизації	15
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	18
РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	21
3.1 Вибір давачів	21
3.2 Вибір виконавчих пристроїв	23
3.3 Вибір пристроїв управління	24
3.4 Вибір джерел живлення	25
РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ	27
РОЗДІЛ 5 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ	29
5.1 Розробка алгоритму функціонування системи управління	29
5.2 Розробка програмного забезпечення програмованого логічного контролера	31
РОЗДІЛ 6 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НА ДІЛЯНЦІ РОЗЛИВУ	37
РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	42
РОЗДІЛ 8 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	45
ВИСНОВОК	48

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	50
ДОДАТКИ	54

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Технологічний процес виробництва рідких добрив включає послідовні етапи: нейтралізацію фосфатної кислоти аміачною водою, розчинення твердих компонентів, охолодження готового продукту, розлив у тару, маркування та транспортування на склад. Якість кінцевої продукції значною мірою залежить від точності дозування, стабільності витрати рідини, контролю рівня у резервуарах та дотримання технологічних параметрів процесу [1].

На сьогоднішній день більшість українських підприємств, що займаються виробництвом рідких добрив використовують застарілі засоби керування на досліджуваній ділянці, а саме розливу, що призводить до нестабільного дозування, підвищеного відсотку браку та непередбачуваних втрат сировини. Впровадження сучасної автоматизованої системи керування дозволяє усунути вказані недоліки: забезпечити стабільну якість продукції, знизити похибку дозування та виробничий брак, підвищити стабільність технологічних параметрів, зменшити навантаження на персонал, а також підвищити енергоефективність виробництва та конкурентоспроможність підприємства.

Метою даної роботи є розробка та обґрунтування автоматизованої системи керування ділянкою розливу технологічного процесу виробництва добрив, що забезпечує стабільність технологічних параметрів процесу, сприяє значному підвищенню якості готової продукції та ефективності роботи виробничої лінії.

Об'єктом дослідження є ділянка розливу технологічного процесу рідких добрив, включаючи обладнання, умови експлуатації та параметри, що визначають точність дозування, якість продукції та його ефективність.

Предметом дослідження є методи, алгоритми та технічні засоби автоматизованого керування процесом розливу рідких добрив, включаючи функціональні схеми автоматизації, мікропроцесорні модулі керування,

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

варіації давачів і виконавчих механізмів, а також якісні характеристики системи.

Методи дослідження: аналіз існуючих технологічних процесів та обладнання, системний підхід до проектування САК, структурно-функціональний метод побудови схем автоматизації.

Практична новизна полягає у розширених можливостях вимірювання та регулюванні параметрів процесу розливу, впровадженні алгоритмів керування витратою та рівнем рідких добрив, підвищенні точності дозування, енергоефективності та безпеки виробництва.

У процесі виконання роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз технологічного процесу розливу рідких добрив як об'єкта керування;
- розробити функціональну схему автоматизації ділянки розливу;
- обґрунтувати вибір технічних засобів автоматизації;
- розробити схему керування на основі мікропроцесорних модулів;
- розрахувати систему автоматичного керування на ділянці розливу;
- розглянути охорону праці та безпеку в надзвичайних ситуаціях;
- розрахувати витрати на впровадження автоматизованої системи керування ділянкою розливу рідких добрив.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Опис та аналіз об'єкта керування

Рідкі азотні добрива є одним із найперспективніших напрямків розвитку сучасної агрохімічної промисловості. На відміну від твердих форм, виробництво рідких добрив не потребує енергоємних операцій випарювання, кристалізації, гранулювання та сушіння, що суттєво знижує собівартість продукції та спрощує технологічний процес [1].

Аміакати – розчини нітрогенвмісних солей в аміачному воді – є одним із основних видів рідких азотних добрив, що випускаються хімічною промисловістю. Тиск пари аміаку над аміакатами значно знижує тиск пари над рідким аміаком, що дозволяє зберігати та транспортувати їх у негерметичних або слабogerметичних резервуарах зі звичайної вуглецевої сталі без застосування посуду високого тиску. Це суттєво сприяє організації виробництва, зберігання та внесення добрив і забезпечує повну механізацію всіх технологічних операцій [2].

Відповідно до складу та технологічних умов виробництва аміакати поділяються на кілька основних видів: добре рідке нітратне «Плав», добре амонійне рідке та вуглеамікат. Кожен з цих видів має власні технічні характеристики, агрохімічні властивості та умови застосування.

Вуглеамікат – аміачно-водний розчин $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ і $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ – виробляється в процесі виробництва карбаміду. Завдяки вмісту вільної аміаки, карбаміду та вуглекислоти він одночасно забезпечує рослини трьома формами азоту, що забезпечує ефективність живлення культури в різних обґрунтовано-кліматичних умовах [3].

Поряд із простими рідкими азотними добривами хімічна промисловість виробляє також рідкі комплексні добрива типу NPK, які одночасно містять азот, фосфор та калій у розчиненому вигляді. Технологічна схема збереження такого добрива забезпечує нейтралізацію фосфатної кислоти аміачною водою

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з подальшим розчиненням хлористого калію та карбаміду в реакторах за контрольованих температурних умов. Готовий продукт дається споживачеві автомобільним або залізничним транспортом у спеціалізованих ємностях.

Технологічний процес виробництва рідких комплексних добрив типу NPK передбачає послідовність хімічних та фізико-механічних операцій, спрямованих на отримання однорідного розчину із заданим вмістом азоту, фосфору та калію. Процес виробництва передбачає наступні стадії (рис. 1.1):

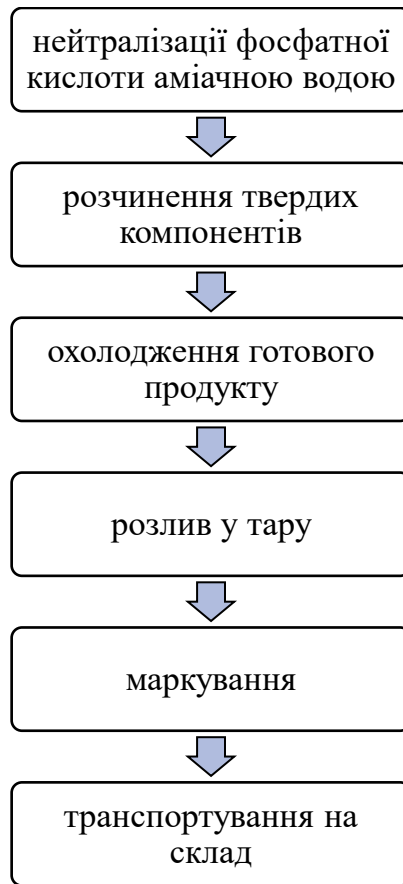


Рисунок 1.1 – Стадії технологічного процесу виробництва рідких добрив

Технологічна схема комплексного добрива типу NPK наведена на рис. 1.2.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

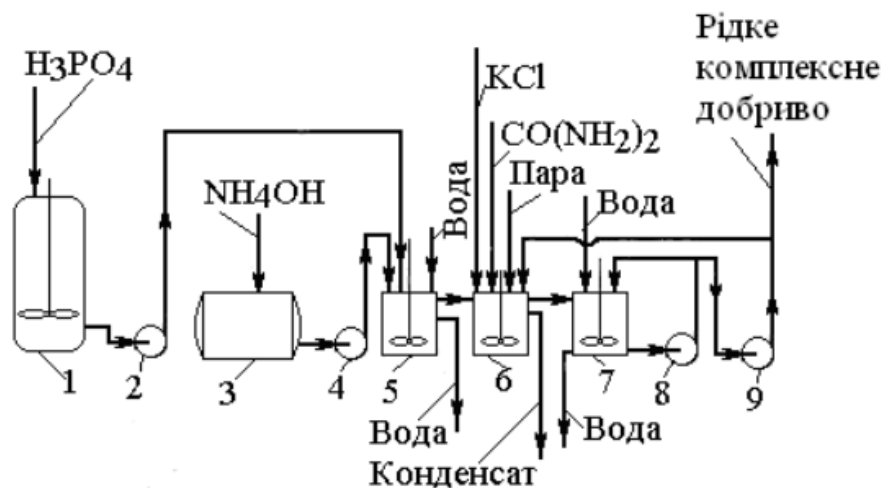


Рисунок 1.2 – Технологічна схема одержання рідкого комплексного добрива:

1 – ємність з фосфатною кислотою; 2, 8, 9 – насоси; 5 – нейтралізатор фосфатної кислоти; 6 – перший реактор для розчинення сухих хлористого калію та карбаміду; 7 – другий реактор для розчинення залишків хлористого калію та карбаміду [1].

Технологічний процес починається з безперервного дозування фосфатної кислоти з концентрацією в нейтралізаторі за допомогою насосного обладнання. «Одночасно до апарату надходить аміачна вода з вмістом азот. У нейтралізаторі підтримуються суворо регламентовані технологічні параметри: вміст NH_3 до H_3PO_4 у мольному виразі становить 1,8-1,9, показник кислотності середовища знаходиться в межах рН 6,5-7,5, а частка P_2O_5 в реакційному розчині збільшується 12,5-13 %» [1].

Через реакцію нейтралізації є екзотермічною, відведення надлишкового тепла створюється через систему водяного охолодження, що не дозволяє температурі реакційної маси перевищити 60 °С.

«Отриманий розчин самопливом надходить до першого реактора, де відбувається розчинення твердих компонентів – хлориду калію та карбаміду. Оскільки процес супроводжується поглинанням теплової енергії, для підтримки необхідного температурного режиму в діапазоні 20-50 °С реактор забезпечується паровим теплообмінником змійового типу.

									АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						12

Завершальна стадія розчинення твердих компонентів відбувається в другому реакторі, після чого реакційна суміш охолоджується до температури, придатної для транспортування» [4].

Норми витрати сировинних компонентів подані на рисунку 1.3.

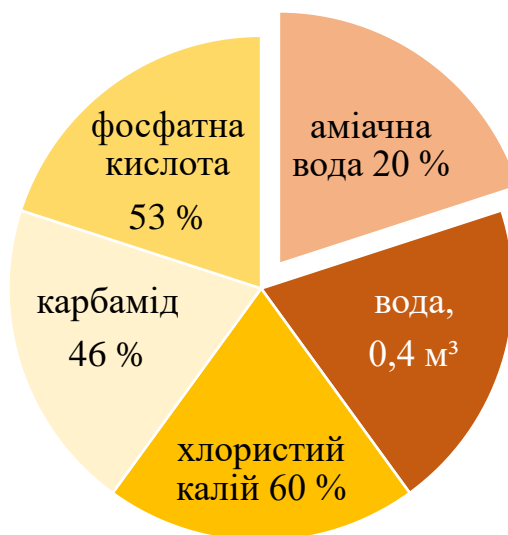


Рисунок 1.3 – Сировинні компоненти добрива

«За традиційною технологією процес розливу організований у вигляді комплексного потоку і включає такі основні етапи. Порожні каністри подаються на конвеєрну лінію і транспортуються до позиції наповнення. Під зливним патрубком накопичувального резервуара каністра зупиняється і наповнюється готовим добривом до встановленого рівня» [4]. Після завершення наповнення каністра продовжує рух по конвеєру і рухається до наступної технологічної позиції (рис. 1.4).

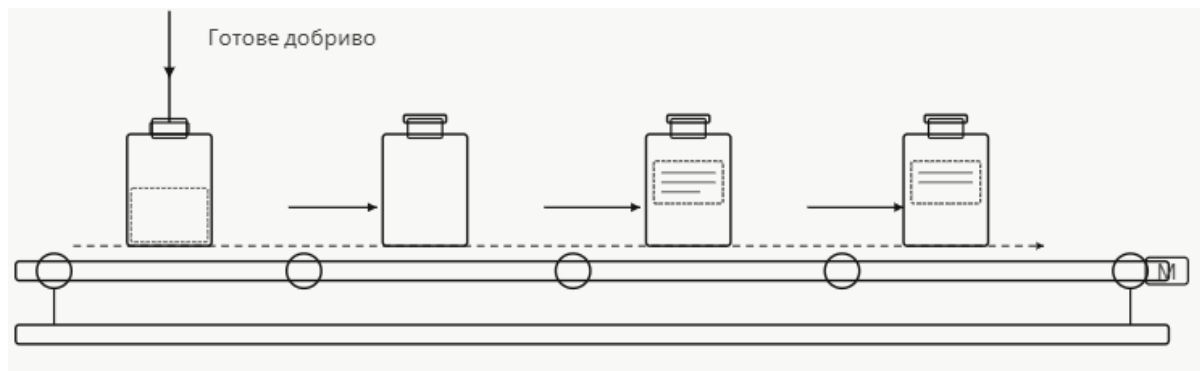


Рисунок 1.4 – Стадія розливу добрив в тару

На позиції коркування каністра закривається кришкою і конвеєром переміщується на ділянку маркування, де наноситься етикетка з найменуванням продукту, складом, датою виготовлення та номером партії. Марковані каністри вкладаються в транспортну упаковку і передаються на склад готової продукції.

1.2 Перелік задач контролю та керування процесом

Для забезпечення якісного розливу рідких добрив та точності дозування готової продукції необхідно дотримуватись технологічних параметрів керування, що подані в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри технологічного процесу

№	Назва параметра	Допустимі межі	Відхилення
1	Кислотність середовища	6,5-7,5 рН	±0,5 рН
2	Температура в першому реакторі	40-50°C	±10°C
3	Температура охолодження	25°C	±1°C
4	Витрата фосфатної кислоти	1,70 т/год	±0,5 т/год
5	Витрата аміачної води	1,56 т/год	±0,5 т/год
6	Витрата карбаміду	1,26 т/год	±0,2 т/год
7	Витрата хлористого калію	1,50 т/год	±0,2 т/год
8	Витрата води	4,00 м ³ /год	±0,3 м ³ /год

Система автоматизації повинна забезпечувати оптимальне ведення процесу, запобігання аварій та підтримання параметрів у регламентованих межах.

Завдання автоматизації для досліджуваної ділянки наступні:

1. Контроль та автоматичне регулювання кислотності середовища (рН) у нейтралізаторі.
2. Контроль та автоматична регулювання температури в першому реакторі.
3. Контроль та автоматична регулювання температури готового продукту.
4. Контроль та регулювання витрат всіх компонентів.
5. Контроль рівня рідини у накопичувальному резервуарі з сигналізацією граничних значень.
6. Автоматичне дозування готового продукту на ділянці розливу з контролем маси каністри тензодатчиком.
7. Контроль наявності каністри.
8. Автоматичне регулювання приводом конвеєра.
9. Автоматичне зважування наповнених каністр.

1.3 Критичний аналіз існуючої системи автоматизації

Технологічний процес може бути охарактеризований через три групи параметрів

Група 1 – параметри стану процесу, які відображають його поточний перебіг (вхідні параметри процесу).

Група 2 – керуючі впливи, тобто параметри, які змінюються, дозволяють впливати на вихід процесу.

Група 3 – збурюючі впливи, які змінюються незалежно від роботи системи керування. Їх природа пов'язана із зовнішніми умовами та

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

внутрішніми змінами характеристики об'єкта. Більша частина яких не піддається вимірюванню.

Для розробки та впровадження повноцінної системи автоматичного керування необхідно провести аналіз технологічного процесу як об'єкта керування, що включає всі характеристик від статичних до динамічних, встановити залежності між параметрами та визначити характер їх взаємозв'язків під час регулювання та контролю (рис. 1.5).

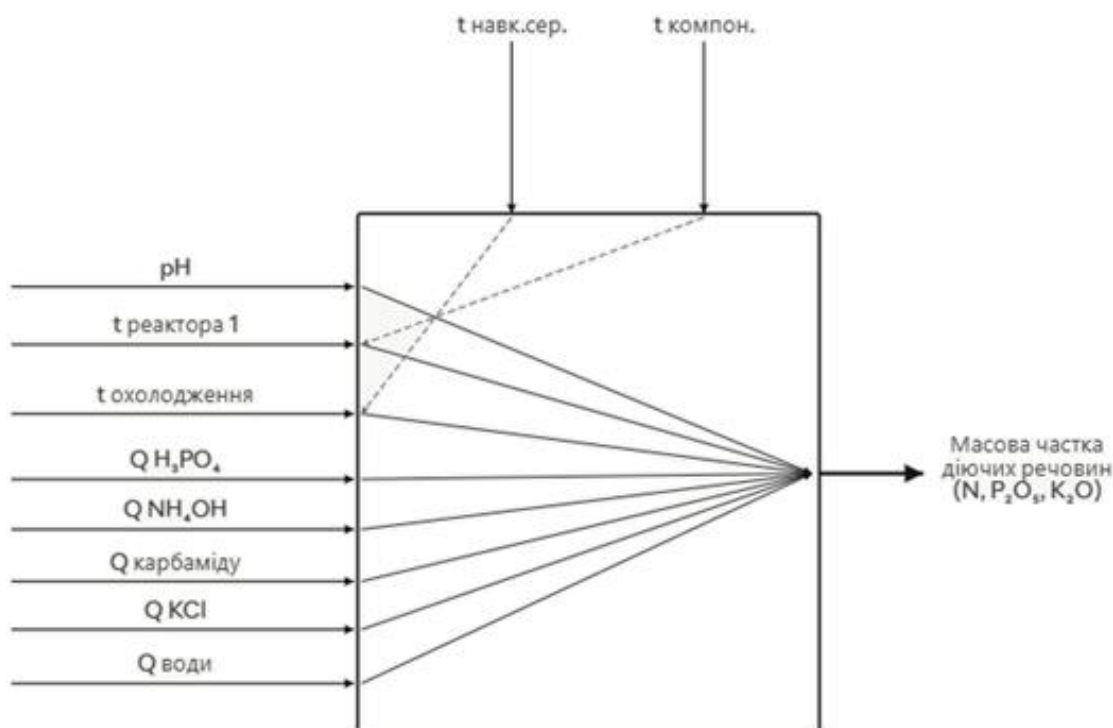


Рисунок 1.5 – Схема зв'язків між вхідними та вихідними величинами

Вхідними параметрами процесу є: витрати та концентрація фосфатної кислоти; витрати аміачної води із вмістом азоту; витрата карбаміду та хлористого калію; витрати та температура охолоджувальної води; показник кислотності середовища; температура в першому реакторі та температура охолодження продукту [5].

Збурюючими впливами є температура навколишнього середовища та температура вхідних компонентів, які діють на процес незалежно від роботи системи керування. Температура навколишнього середовища впливає на

температуру охолодження, а температура вхідних компонентів – на температурний режим першого реактора [6].

Основним вихідним параметром процесу є масова частка діючих речовин у готовому продукті (N, P₂O₅, K₂O), яка визначає агрохімічну цінність добрива та є результуючим показником точності усіх вхідних параметрів [7].

Порушення будь-якого вхідного параметра впливає на характеристики та якість кінцевого продукту, в нашому випадку рідких добрив. Стабілізація технологічних параметрів процесу в межах встановленого регламенту забезпечує досягнення необхідного технологічного результату.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Згідно теми кваліфікаційної роботи та завдань автоматизації, які були сформовані у попередньому розділі була розроблена функціональна схема автоматизації ділянки розливу рідких добрив (рис. 2.1), яка передбачає контроль та регулювання таких технологічних параметрів:

- рівня рідини в реакторі;
- витрати вхідних компонентів;
- температури та кислотності реакційного середовища;
- рівня в резервуарі готового продукту;
- температури готового продукту;
- маси дозованого продукту;
- наявності тари та швидкості конвеєра.

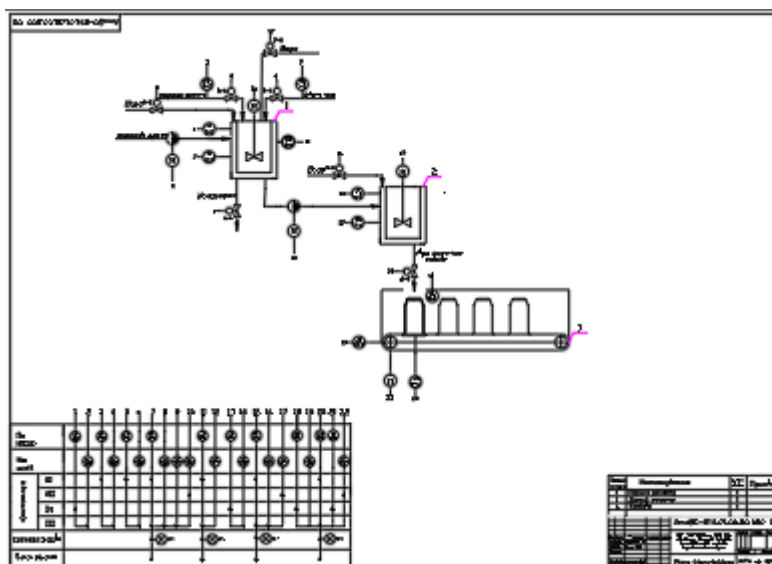


Рисунок 2.1 – Функціональна схема автоматизації

У відповідності до встановлених технологічних параметрів схема автоматизації містить наступні контури:

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

1) Контроль рівня в реакторі. Рівень рідини в реакторі-нейтралізаторі вимірюється рівнеміром LE 1-1. Сигнал надходить на аналоговий вхід контролера (AI). При досягненні заданої межі рівня контролер формує команду на зупинку роботи двигуна насоса NS 1-3, а при не досягненні заданої межі процес перекачування продовжується.

2) Контроль витрати аміачної води. Витрата аміачної води, що подається до реактора, вимірюється витратоміром FE 2-1. Сигнал надходить на аналоговий вхід контролера (AI). На основі отриманого значення контролер формує команди на вмикання та вимикання клапана NS 2-3 подачі аміачної води через дискретний вихід (DO).

3) Контроль витрати кислоти. Витрата фосфатної кислоти, що подається до реактора, вимірюється витратоміром FE 3-1. Сигнал надходить на аналоговий вхід контролера (AI). На основі отриманого значення контролер формує команди на вмикання та вимикання клапана NS 3-3 подачі кислоти через дискретний вихід (DO).

4) Контроль температури в реакторі. Температура реакційного середовища в реакторі-нейтралізаторі вимірюється термоперетворювачем TE 4-1. Сигнал надходить на аналоговий вхід контролера (AI). При відхиленні температури від допустимих меж контролер формує сигнал сигналізації та команду на вмикання або вимикання клапана подачі пари NS 4-3, для зливу конденсату NS 4-5. Мішалка реактора вмикається та вимикається командою контролера через дискретний вихід (DO) NS 4-7 для забезпечення рівномірного перемішування. Контроль кислотності (pH) в реакторі. Кислотність реакційного середовища вимірюється рН-датчиком QE 5-1. Сигнал надходить на аналоговий вхід контролера (AI). При відхиленні рН від заданих меж контролер формує сигнал сигналізації та команди на коригування подачі компонентів через відповідні клапани NS 5-3.

5) Контроль рівня в резервуарі готового продукту. Рівень у резервуарі перед ділянкою розливу вимірюється рівнеміром LE 6-1. Сигнал надходить на

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналоговий вхід контролера (AI). При недосягненні межі рівня контролер формує команду на вмикання насоса подачі продукту NS 6-3. При досягненні верхньої межі – команду на вимикання насоса.

6) Контроль температури готового продукту. Температура готового продукту в резервуарі вимірюється термоперетворювачем TE 7-1. Сигнал надходить на аналоговий вхід контролера (AI). При відхиленні температури від допустимих меж контролер формує сигнал сигналізації та команду на вмикання або вимикання клапана NS 7-3 подачі охолоджувальної води та паралельно вмикає двигун мішалки NS 7-5.

7) Контроль дозування за масою. Маса рідкого добрива, що подається до тари, вимірюється тензодатчиком WE 9-1, а наявність тари на стрічці датчиком GE 8-1. Сигнал надходить на аналоговий вхід контролера (AI і DI). Контролер фіксує поточну масу та при досягненні заданого значення формує команду на закриття дозувального клапана NS 8-3 через дискретний вихід (DO). Здійснюється облік маси кожної одиниці тари та сигналізація при відхиленні від норми дозування.

8) Керування конвеєром. Після завершення наповнення, за сигналом від тензодатчика, контролер закриває клапан та вмикає привід конвеєра. Швидкість переміщення конвеєра вимірюється датчиком швидкості SE 10-1, сигнал надходить на аналоговий вхід контролера (AI), а далі передає сигнал на двигун конвеєра NS 10-3. Здійснюється моніторинг швидкості та сигналізація при відхиленні від заданого значення.

Специфікація технічних засобів автоматизації представлена в додатку А.1.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вибір датчиків

У відповідності до розробленої функціональної схеми автоматизації було здійснено підбір технічних засобів: датчики температури, рівня, витрати, кислотності, маси та швидкості.

Для вимірювання температури рідкого добрива в реакторі-змішувачі обрано занурювальний термоперетворювач опору Endress+Hauser TR10 з чутливим елементом Pt100 та вбудованим нормуючим перетворювачем із вихідним сигналом 4-20 мА. Використовується для контролю температурного режиму процесу змішування компонентів добрива. Занурювальна частина виготовлена з нержавіючої сталі AISI 316L, що забезпечує хімічну стійкість до агресивного середовища мінеральних добрив [8]. Детальні технічні характеристики термоперетворювача опору Endress+Hauser TR10 представлені в додатку Б.1.

У вимірюванні рівня в реакторах вибрано датчик WİKA ELM 63, що забезпечуватиме сигналізацію рівня рідини (добрива) в резервуарах з хімічно агресивними середовищами – концентрованими кислотами, лугами та агресивними розчинами до нейтралізації. Корпус виготовлено з нержавіючої сталі 1.4571 (AISI 316Ti), а поплавков – із PTFE (фторопласту), що забезпечує повну хімічну інертність до більшості агресивних рідин. Монтаж здійснюється збоку резервуара через різьбовий штуцер 1/2" BSP [9]. Детальні технічні характеристики датчик WİKA ELM 63 представлені в додатку Б.2.

Витрату вимірюватимемо витратоміром електромагнітним EPC-25. Принцип роботи ґрунтується на законі електромагнітної індукції Фарадея – вимірювальна труба не має рухомих частин і фторопластового покриття, що забезпечує хімічну стійкість до агресивного середовища мінеральних добрив

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[10]. Детальні технічні характеристики витратоміра представлені в додатку Б.3.

Для вимірювання рН розчину рідкого добрива в реакторі-нейтралізаторі обрано систему аналізу рН фірми Endress+Hauser, що складається з занурювального рН-електрода CPS11D на базі технології Memosens та цифрового перетворювача Liquiline CM442. Технологія Memosens забезпечує цифрову передачу сигналу від електрода до перетворювача, що виключає вплив вологи та електромагнітних перешкод на результат вимірювання. Корпус електрода з нержавіючої сталі та скляна мембрана стійкі до агресивного середовища мінеральних добрив [11]. Детальні технічні характеристики датчика представлені в додатку Б.4.

З метою зважування каністри з рідким добривом на стрічковому конвеєрі обрано одноточковий тензодатчик Zemic H8C-C3-50kg. Датчик встановлюється під платформою зважування, що монтується на рамі конвеєра. Аналоговий сигнал виходу (мВ/В) подається на ваговий підсилювач-перетворювач із виходом 4-20 мА, який підключається до аналогового входу ADAM-5017 [12]. Детальні технічні характеристики тензодатчика представлені в додатку Б.5.

Для контролю руху стрічки конвеєра обрано індуктивний датчик швидкості XSAV11373 із вбудованим компаратором імпульсів. Датчик встановлюється біля вала редуктора і фіксує його обертання. Вихідний сигнал PNP 24В DC підключається напряму до дискретного входу ADAM-5051 без додаткових модулів. При зупинці конвеєра вихід розмикається і ПЛК зупиняє процес розливу [13]. Детальні технічні характеристики датчика швидкості представлені в додатку Б.6.

Оптичний датчик Omron E3FA-DP12 – дифузний оптичний датчик у циліндричному корпусі M18 із виходом PNP для визначення наявності каністри на конвеєрі. Датчики серії E3FA спеціально розроблені для машин, які ніколи не зупиняються – забезпечують надійне виявлення у міцному

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

водонепроникному корпусі, а також мають високий захист від електромагнітних перешкод і світлостійкість. Вихід PNP 24В DC підключається напряду до дискретного входу модуля ADAM-5051 [14]. Детальні технічні характеристики оптичного датчика представлені в додатку Б.7.

3.2 Вибір виконавчих пристроїв

Для комутації котушок електромагнітних клапанів на ділянці розливу зупинились на уніфікованому проміжному реле Phoenix Contact REL-MR-24DC/21. Реле встановлюється між виходами ПЛК ADAM-5000 та котушками клапанів і забезпечує гальванічну розв'язку кіл керування та силових кіл. Усі реле системи є однотипними, що спрощує монтаж, обслуговування та заміну в разі несправності. Монтаж здійснюється на DIN-рейку в шафі керування [15]. Детальні технічні характеристики реле представлені в додатку В.1.

Для керування приводами конвеєра та мішалок на ділянці розливу рідких добрив обрано частотний перетворювач INVT GD20-004G-4. Пристрій підтримує векторний та скалярний типи керування, має вбудований ПД-регулятор та інтерфейс RS-485 з протоколом Modbus RTU для інтеграції з ПЛК [16]. Детальні технічні характеристики реле представлені в додатку В.2.

Подачу та перекриття рідкого добрива на ділянці розливу реалізовує електромагнітний запірний клапан ODE серії 21Н. Корпус із нержавіючої сталі AISI 316 та ущільнення EPDM забезпечують стійкість до агресивного хімічного середовища мінеральних добрив. Клапан керується безпосередньо від виходу реле Phoenix Contact через котушку 24 В АС [17]. Детальні технічні характеристики реле представлені в додатку В.3.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Вибір пристроїв управління

В межах виконання кваліфікаційної роботи для запровадження системи автоматизації ділянки розливу рідких добрив було розроблено схему автоматизації, яка описана в розділі 2 та передбачає контроль і управління такими технологічними параметрами: рівнем, витратою, температурою, масою, швидкістю та кислотністю. Відповідно до розробленої функціональної схеми, система потребує підключення аналогових та дискретних сигналів від датчиків і виконавчих механізмів:

- 6 аналогових входів;
- 3 аналогових виходи;
- 4 дискретних входи;
- 9 дискретних виходів.

Було обрано модульну систему збору даних і керування за допомогою контролера серії ADAM-5000/TCP. Платформа підтримує до 8 змінних модулів введення-виведення, що забезпечує бажану гнучкість і масштабованість системи при необхідності.

Перелік обраних модулів із зазначенням кількості каналів та необхідної кількості відповідно до ФСА подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Специфікація модулів системи ADAM-5000

Модуль	Призначення	Канали	К-сть
ADAM-5017	Аналоговий вхід	8 AI	1
ADAM-5024	Аналоговий вихід	4 AO	1
ADAM-5051	Дискретний вхід	16 DI	1
ADAM-5069	Релейний вихід	8 DO	2

Загалом мною задіяно п'ять із восьми доступних слотів шасі. Дані щодо обраного обладнання, а саме модулів контролера та його головні технічні характеристики наведено далі:

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ADAM-5017 – модуль для зчитування аналогових сигналів від датчиків (рівня, витрати, тиск). Має 8 входів, підтримує стандартний промисловий сигнал 4-20 мА та напругу до ± 10 В. Роздільна здатність 16 біт забезпечує високу точність вимірювання [18]. Більш детальна технічна характеристика модуля подана в додатку Д.1.

2. ADAM-5024 – модуль для формування керуючих аналогових сигналів на частотний перетворювач. 4 виходи з діапазоном 4-20 мА або 0-10 В, точність $\pm 0,1\%$ [19]. Більш детальна технічна характеристика модуля подана в додатку Д.2.

3. ADAM-5051 – модуль для зчитування дискретних сигналів (положення датчиків рівня, ваги та наявності канистри). 16 входів, напруга 24 В DC [20]. Більш детальна технічна характеристика модуля подана в додатку Д.3.

4. ADAM-5069 – модуль керування виконавчими механізмами через реле: клапани, насоси, сигнальні лампи. 8 реле, навантаження на кожен контакт до 5 А / 250 В AC. Оскільки в схемі потрібно 9 виходів DO, використовуємо 2 модулі [21]. Більш детальна технічна характеристика модуля подана в додатку Д.4.

5. ADAM-5000/TCP – шафи, в які встановлюються всі вищезгадані модулі. Має 8 слотів і передає дані на комп'ютер або SCADA-систему через мережу Ethernet за протоколом Modbus/TCP. Із 8 місць зайнято, а інші резервні [22]. Більш детальна технічна характеристика подана в додатку Д.5.

3.4 Вибір джерел живлення

Для підбору джерела живлення необхідно переконатись чи достатньо обраній моделі потужності, щоб одночасно утримувати всі модулі контролера серії ADAM-5000. Згідно технічної документації Advantech, шасі ADAM-5000/TCP потребує 2,50 Вт, модуль аналогових входів ADAM-5017 – 1,25 Вт,

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модуль аналогових виходів ADAM-5024 – 2,90 Вт, модуль дискретних входів ADAM-5051 – 0,53 Вт та два релейних модулі ADAM-5069 по 2,20 Вт кожен, що у сумі дає 4,40 Вт. У підсумку загальна потужність складає 11,58 Вт, саме стільки споживає вся система. Єдиний момент, який необхідно врахувати пов'язаний із релейними модулями: котушка електромагніту реле у момент спрацювання споживає більший струм порівняно з режимом утримання якоря, оскільки до встановлення магнітного потоку індуктивний опір обмотки є меншим. Саме тому до розрахункового значення закладається 25-відсотковий запас [23] :

$$P = 11,58 \times 1,25 = 14,48 \text{ Вт.}$$

Це і є розрахована мінімально допустима потужність джерела живлення для даної конфігурації запропонованої системи автоматизації та відповідних технічних засобів, які були підібрані з врахування технологічних параметрів процесу.

З урахуванням отриманого значення 14,48 Вт обирається блок живлення фірми Siemens SITOP PSU100S 6EP1332-2BA20 (24 В DC, 60 Вт). Перевагою даної моделі є вбудована функція короткочасного перевантаження до 150% від номіналу протягом 5 секунд, що повністю перекриває пускові струми котушок реле без просадки вихідної напруги [24]. Детальний опис технічних характеристик в додатку Д.6.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОБГРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

Комплектування шасі ADAM-5000/TCP модулями вводу-виводу виконано виходячи з переліку польових сигналів, їх електричної природи та необхідної кількості каналів кожного типу.

Аналогові вимірювальні канали – витрата (FE 2-1, FE 3-1), температура (TE 4-1, TE 7-1), кислотність (QE 5-1) та маса (WE 9-1) – об'єднано на модулі ADAM-5017. Усі перелічені первинні перетворювачі мають уніфікований струмовий вихід 4...20 мА, що забезпечує завадостійку передачу сигналу на відстань. Призначення входів:

- V0 – FE 2-1;
- V1 – FE 3-1;
- V2 – TE 4-1;
- V3 – QE 5-1;
- V4 – TE 7-1;
- V5 – WE 9-1;
- V6, V7 – резервні.

Давачі рівня LE 1-1 і LE 6-1, датчик наявності тари GE 8-1 та індуктивний датчик швидкості SE 10-1 формують двопозиційний сигнал 24 В DC і підключаються до модуля дискретного вводу ADAM-5051:

- DI0 – LE 1-1;
- DI1 – LE 6-1;
- DI2 – GE 8-1;
- DI3 – SE 10-1.

Керування виконавчими клапанами, насосами та сигнальними лампами реалізовано через два релейних модулі ADAM-5069. Розподіл каналів виконано з урахуванням технологічної черговості спрацювання:

ADAM-5069(1):

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- NO1 – NS 1-3;
- NO2 – NS 2-3;
- NO3 – NS 3-3;
- NO4 – NS 4-3;
- NO5 – NS 4-5;
- NO6 – NS 5-3;
- NO7 – NS 6-3;
- NO8 – NS 7-3.

ADAM-5069(2):

- NO1 – NS 8-3;
- NO2 – HL1;
- NO3 – HL2;
- NO4 – HL3;
- NO5 – HL4;
- NO6 – NO8 – резервні.

Регулювання частоти обертання мішалок реактора, мішалки резервуару та приводу конвеєра здійснюється через частотні перетворювачі. Задавальний сигнал у діапазоні 0-10 В формується одним модулем ADAM-5024, каналів якого достатньо для покриття трьох приводів:

- I0 → NS 4-7;
- I1 → NS 7-5;
- I2 → NS 10-3;
- I3 – резервний.

Зібрані модулі монтуються в шасі ADAM-5000/TCP, яке забезпечує їх електричне живлення, внутрішній обмін даними та зв'язок із верхнім рівнем керування. Інтеграція до мережі підприємства здійснюється через порт Ethernet 10/100Base-T за протоколом Modbus/TCP; для фізичного підключення використовується екранована кручена пара CAT5e з роз'ємом RJ-45.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Розробка алгоритму функціонування системи управління

Забезпечення функціонування системи управління ділянкою розливу реалізується через алгоритм та логіку опитування датчиків, обробку отриманих сигналів та формування відповідних керуючих впливів на виконавчі механізми. Система працює циклічно контролер безперервно опитує всі канали вводу та за результатами порівняння поточних значень із заданими значеннями формує відповідні команди керування.

Запропонована система охоплює вісім контурів. Алгоритм функціонування починається з зчитування показів рівнеміра LE 1-1 (DI0, ADAM-5051). Якщо рівень досягає заданої межі подається команда на вимкнення насоса NS 1-3 (NO1, ADAM-5069(1)), а у разі не досягнення заданого рівня насос NS 1-3 залишається увімкненим і перекачування продовжується. Далі зчитуються покази з витратоміра FE 2-1 (V0, ADAM-5017). Якщо витрата перевищує задане значення, клапан NS 2-3 (NO2, ADAM-5069(1)) закривається. При невиконанні умови клапан NS 2-3 залишається відкритим. Також зчитуються показання витратоміра FE 3-1 (V1, ADAM-5017). Якщо ж витрата досягає заданого значення, то клапан NS 3-3 (NO3, ADAM-5069(1)) заритий, в іншому випадку при недосягненні заданого значення клапан NS 3-3 відкритий. Перевірка показання термоперетворювача TE 4-1 (V2, ADAM-5017), якщо температура в межах норми, то перейти до вмикання мішалки 4-7, але якщо температура нижче допустимої межі відкривається клапан подачі пари NS 4-3 (NO4, ADAM-5069(1)) і відкривається клапан зливу конденсату NS 4-5 (NO5, ADAM-5069(1)). При умові температури вище допустимого значення закрити NS 4-3 і NS 4-5. Далі зчитуються показання рН-датчика QE 5-1 (V3, ADAM-5017). Якщо рН в межах норми, то процес продовжується і клапан NS 5-3 (NO6, ADAM-5069(1)) є закритим. Якщо рН відхиляється від заданих норм, то передається сигнал на

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відкриття клапана NS 5-3 (NO6, ADAM-5069(1)) для корегування кислотності. На наступному етапі відбувається перевірка показів рівнеміра LE 6-1 (DI1, ADAM-5051) і у разі невиконання умови, тобто рівень нижче межі вмикається насос NS 6-3 (NO7, ADAM-5069(1)) подачі продукту з першого реактора. Якщо рівень досягнув необхідного значення, то вимкнути насос NS 6-3. У другому реакторі теж відбувається зчитування показання термоперетворювача TE 7-1 (V4, ADAM-5017). Якщо температура в межах норми, то клапан NS 7-3 вимкнений, а двигун мішалки NS 7-5 залишається увімкнутим, у іншому випадку, якщо температура відхиляється від допустимих значень клапан охолоджувальної води NS 7-3 (NO8, ADAM-5069(1)) відкривається, а мішалка NS 7-5 (I1, ADAM-5024) залишається у увімкнутому стані. Після другого реактора добриво надходить на розлив, тому спочатку зчитуємо сигнал від датчика наявності тари GE 8-1 (DI2, ADAM-5051). Якщо тара відсутня продовжується очікування та повторюється опитування. При виконанні умови, а саме якщо тара присутня відкривається дозувальний клапан NS 8-3 (NO1, ADAM-5069(2)). Потім зчитуємо поточну масу з тензодатчика WE 9-1 (V5, ADAM-5017). Якщо маса не досягла заданого значення наповнення продовжується клапан NS 8-3 відкритий. Якщо маса досягла встановленого значення клапан NS 8-3 закривається. Після закриття дозувального клапана подається керуючий сигнал на привід конвеєра NS 10-3 (I2, ADAM-5024) і зчитується швидкість конвеєра з датчика SE 10-1 (DI3, ADAM-5051). Якщо швидкість відповідає заданому значенню продовжується переміщення тари. Якщо ж швидкість відхиляється від норми формується сигнал сигналізації та скоригується завдання на NS 10-3.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Розробка програмного забезпечення програмованого логічного контролера

В основі системи автоматизації, а саме технічного забезпечення взято контролер серії ADAM-5000/TCP. Попередній проведений аналіз сигналів від вимірювальних приладів дозволяє розмістити необхідний склад аналогових та дискретних модулів введення та виведення. Розроблене програмне забезпечення на мові Basic Script забезпечує збір, обробку параметрів технологічного процесу та формування необхідних керуючих впливів на виконавчі та регулюючі механізми.

Для програмування використовується середовище Adam View компанії Advantech, яке підтримує повний цикл розробки та забезпечує сумісність з усім обладнанням серії ADAM-5000/TCP.

SCR1. Блок дискретного вводу DI1 отримує сигнал від рівнеміра LE 1-1. Виконавчий пристрій NS 1-3 (насос) підключено до виходу DO1. Алгоритм керування реалізовано у скрипті, лістинг 5.1.

Лістинг 5.1 – Скрипт SCR1

```
Sub SCR1()  
  set DI1 = GetTag("TASK1","DI1")  
  if DI1 > 0 then  
    outputf 0, 0  
  else  
    outputf 0, 1  
  end if  
End Sub
```

кінець лістингу 5.1

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

SCR2. Сигнал витратоміра FE 2-1 надходить до аналогового входу AI1. Клапан NS 2-3 керується через вихід DO2. Програмний код скрипта на лістингу 5.2.

Лістинг 5.2 – Скрипт SCR2

```
Sub SCR2()  
  set AI1 = GetTag("TASK1","AI1")  
  if AI1 > SetPoint_F2 then  
    outputf 1, 0  
  else  
    outputf 1, 1  
  end if
```

кінець лістингу 5.2

SCR3. Витратомір FE 3-1 підключено до аналогового входу AI2. Керування клапаном NS 3-3 здійснюється через вихід DO3. Відповідний код на лістингу 5.3.

Лістинг 5.3 – Скрипт SCR3

```
Sub SCR3()  
  set AI2 = GetTag("TASK1","AI2")  
  if AI2 >= SetPoint_F3 then  
    outputf 2, 0  
  else  
    outputf 2, 1  
  end if
```

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

End Sub

кінець лістингу 5.3

SCR4. Термоперетворювач ТЕ 4-1 з'єднано з аналоговим входом АІ3. Клапан подачі пари NS 4-3 та клапан зливу конденсату NS 4-5 підключено до виходів DO4 і DO5 відповідно, привід мішалки NS 4-7 – через аналоговий вихід АО1. та Реалізація коду на лістингу 5.4.

Лістинг 5.4 – Скрипт SCR4

```
Sub SCR4()  
  set AI3 = GetTag("TASK1","AI3")  
  if AI3 < TempMin_4 then  
    outputf 3, 1  
    outputf 4, 1  
    outputaf 0, MixerSpeed  
  elseif AI3 > TempMax_4 then  
    outputf 3, 0  
    outputf 4, 0  
    outputaf 0, MixerSpeed  
  end if  
End Sub
```

кінець лістингу 5.4

SCR5. рН-датчик QE 5-1 підключено до аналогового входу АІ4. Сигнал корекції кислотності передається на клапан NS 5-3 через вихід DO6. Програмний код на лістингу 5.5.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лістинг 5.5 – Скрипт SCR5

```
Sub SCR5()  
  set AI4 = GetTag("TASK1","AI4")  
  if AI4 >= pHMin and AI4 <= pHMax then  
    outputf 5, 0  
  else  
    outputf 5, 1  
  end if  
End Sub
```

кінець лістингу 5.5

SCR6. Рівнемір LE 6-1 з'єднано з дискретним входом DI2. Насос подачі продукту NS 6-3 керується через вихід DO7. Скрипт на лістингу 5.6.

Лістинг 5.6 – Скрипт SCR6

```
Sub SCR6()  
  set DI2 = GetTag("TASK1","DI2")  
  if DI2 < 0 then  
    outputf 6, 1  
  else  
    outputf 6, 0  
  end if  
End Sub
```

кінець лістингу 5.6

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

SCR7. Термоперетворювач TE 7-1 підключено до аналогового входу AI5. Клапан охолодження NS 7-3 керується через DO8, привід мішалки NS 7-5 – через аналоговий вихід AO2. Відповідний код міститься на лістингу 5.7.

Лістинг 5.7 – Скрипт SCR7

```
Sub SCR7()  
  set AI5 = GetTag("TASK1","AI5")  
  if AI5 >= TempMin_7 and AI5 <= TempMax_7 then  
    outputf 7, 0  
    outputaf 0, MixerSpeed  
  else  
    outputf 7, 1  
    outputaf 0, MixerSpeed  
End Sub
```

кінець лістингу 5.7

SCR8-SCR9. Датчик наявності тари GE 8-1 підключено до входу DI3, тензодатчик WE 9-1 – до аналогового входу AI6. Дозувальний клапан NS 8-3 керується через вихід DO9. Датчик швидкості SE 10-1 з'єднано з дискретним входом DI4, керуючий сигнал на привід конвеєра NS 10-3 подається через аналоговий вихід AO3. Лістинги скриптів відповідно 5.8. та 5.9.

Лістинг 5.8 – Скрипт SCR8

```
Sub SCR8()  
  set DI3 = GetTag("TASK1","DI3")  
  set AI6 = GetTag("TASK1","AI6")
```

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
if DI3 > 0 then
  if AI6 < SetPoint_W then
    outputf 8, 1
  else
    outputf 8, 0
  end if
else
  outputf 8, 0
end if
End Sub
```

кінець лістингу 5.8

Лістинг 5.9 – Скрипт SCR9

```
Sub SCR9()
  set DI4 = GetTag("TASK1","DI4")
  if DI4 >= SpeedMin and DI4 <= SpeedMax then
    outputaf 1, ConveyorSpeed
  else
    outputaf 1, ConveyorSpeed
  end if
End Sub
```

кінець лістингу 5.9

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НА ДІЛЯНЦІ РОЗЛИВУ

Технологічний процес виробництва рідких добрив, а саме ділянка розливу має один із ключових параметрів, що потребує автоматичного регулювання – маса рідкого добрива, що відпускається у тару (бочки, каністри). Від точності дозування залежить якість готової продукції та відповідність нормам фасування.

Досліджуваний контур регулювання маси містить такі елементи:

- об’єкт керування – ділянка подачі рідкого добрива від другого реактора до наповнювальної головки, тара встановлена на ваговій платформі з клапаном на лінії подачі;
- давач маси – тензодатчик;
- регулюючий орган – електропневматичний клапан на трубопроводі подачі;
- регулятор – ПІ-регулятор.

Завданням для нашої системи є забезпечити дозування маси на заданому значенні $m = 5$ кг з допустимим відхиленням $\pm 0,5$ % під час наповнення тари, незважаючи на зовнішні чинники (зміна тиску чи в’язкості добрива).

Об’єкт керування – гідравлічний тракт з вимірюванням маси продукту у тарі описується рівнянням балансу, а саме диференціальним рівнянням першої степені, формула (6.1) [25]:

$$T_1 \times \frac{dM}{dt} + M = K_1 \times u(t), \quad (6.1)$$

де u – керуючий сигнал (% відкриття клапана);

M – маса рідкого добрива у тарі;

T_1 – стала часу гідравлічної ланки, с;

K_1 – коефіцієнт підсилення першої ланки.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Регулюючий клапан з електропневматичним виконавчим механізмом вводить додаткову динаміку – другу аперіодичну ланку, формула (6.2) [26]:

$$T_2 \times \frac{d\delta}{dt} + \delta = u(t), \quad (6.2)$$

де δ – відносне відкриття клапана;

T_2 – стала часу виконавчого механізму, с.

Отже, передаточна функція об'єкта керування застосовувавши перетворення Лапласа до вище вказаних рівнянь і за нульових початкових умов, отримуємо передаточну функцію у вигляді послідовного з'єднання ланок, формула (6.3) [26]:

$$W_o = \frac{K_o}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (6.3)$$

де K_o – загальний коефіцієнт підсилення об'єкта;

T_1 – ‘велика’ стала часу (механічна інерція системи подачі);

T_2 – ‘мала’ стала часу (виконавчий механізм).

Параметри об'єкта керування визначені експериментально методом кривої розгону та наведені у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Параметри об'єкта керування

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця
Коефіцієнт підсилення об'єкта	K_o	0,15	кг/(с·%)
Стала часу (механічна інерція)	T_1	6,0	с
Стала часу (привід клапана)	T_2	0,6	с

Підставивши значення у формулу (6.3), отримали передаточну функцію об'єкта:

$$W_o = \frac{K_o}{(T_1p+1)(T_2p+1)} = \frac{0,15}{(6p+1)(0,6p+1)}.$$

Для усунення статичної помилки по масі обираємо ПІ-регулятор із передаточною функцією, формула (6.4) [26]:

$$W_p(p) = k_1 + \frac{k_3}{p} = \frac{(k_1p+k_3)}{p} \quad (6.4)$$

де k_1 – пропорційна складова (коефіцієнт підсилення);

k_3 – інтегральна складова.

Запишемо передаточну функцію розімкненої системи:

$$W_p(p) = W_p(p) \times W_o(p) = \frac{(k_1p+k_3)}{p} \times \frac{0,15}{(6p+1)(0,6p+1)}$$

Після підстановки умови компенсації передаточна розімкнена система набуде вигляду [27]:

$$W_p(p) = \frac{0,15 \times k_3}{(0,6p^2+p)}.$$

Передаточна функція замкненої системи:

$$W_3(p) = \frac{W_p(p)}{1+W_p(p)} = \frac{0,15 \times k_3}{(0,6p^2+p+0,15 \times k_3)}.$$

Ділимо чисельник і знаменник на 0,6, формула (6.5) :

$$W_3(p) = \frac{\omega_n^2}{p^2+2\xi\omega_n \times p+\omega_n^2}, \quad (6.5)$$

де $\omega_n^2 = 0,18 \cdot k_3/0,6 = 0,3 \cdot k_3$;

$2\xi\omega_n = 1/0,6 = 1,667$, звідси $\xi = 0,833/\omega_n$.

У відповідності до технологічних вимог процесу дозування рідких добрив задаємо показники якості перехідного процесу: σ не більше 5 %, час регулювання $t_p \leq 12$ с.

З рівняння $2\xi\omega_n = 1,667$, підставляємо $\xi = 0,69$:

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega_n = \frac{1,667}{2 \times 0,69} = 1,21 \text{ рад/с.}$$

З рівняння $\omega_n^2 = 0,3 \cdot k_3$:

$$k_3 = \frac{1,459}{2 \times 0,69} = 4,88.$$

З умови компенсації $k_1 = k_3 \cdot T_i$:

$$k_1 = 4,88 \times 6 = 29,28.$$

Коефіцієнт пропорційності k_p та час інтегрування T_i :

$$k_{kp} = k_1 = 29,28 \quad T_i = \frac{k_1}{k_3} = \frac{29,88}{4,88} = 6 \text{ с.}$$

Перевіряємо отримане значення ξ підстановкою у вираз для перерегулювання [27]:

$$\sigma = e^{\left(\frac{-\pi \times 0,69}{\sqrt{(1-0,69^2)}}\right)} \times 100\% = 5\%$$

За результатами розрахунку отримано перерегулювання $\sigma = 5\%$, яке відповідає поставленим вимогам.

Час регулювання t_p для аперіодичної системи другого порядку:

$$t_p = \frac{(3+\xi^2)}{\xi \times \omega_n} = \frac{3+0,69^2}{0,69 \times 1,21} = 4,7 \text{ с.}$$

Отримане $t_p = 4,7 \text{ с}$ – значно менше допустимого $t_p \leq 12 \text{ с}$. Зведені показники якості подані в таблиці 6.2

Таблиця 6.2 – Зведені показники якості

Показник якості	Позначення	Вимога	Розраховано
Перерегулювання	σ	$\leq 5\%$	5,0 %
Час регулювання	t_m	$\leq 12 \text{ с}$	4,7 с
Коефіцієнт демпфірування	ξ	0,65–0,75	0,69
Власна частота	ω_n	–	0,906 рад/с

У розділі проведено розрахунок САК на ділянці розливу. Синтезовано ПІ-регулятор з параметрами $k_p = 29,28$, $T_i = 6 \text{ с}$. Одержані показники якості відповідають поставленим завданням: $\sigma = 5\%$, а $t_p = 4,7 \text{ с}$ при допустимій межі

до 12 с. Поставлені завдання, щодо забезпечення бажаних показників якості САР забезпечені.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Ділянка розливу рідких добрив є об'єктом підвищеної небезпеки, оскільки технологічний процес передбачає роботу з хімічно агресивними речовинами фосфатною кислотою, аміачною водою, хлористим калієм та карбамідом – за умов наявності електрообладнання, насосного та трубопроводного оснащення.

На ділянці виявлено дві групи небезпечних та шкідливих виробничих факторів згідно з [28]:

1. Перша група: підвищений рівень шуму від насосів і частотних перетворювачів (до 85 дБ); вібрація від насосного агрегату; підвищена напруга в електричному ланцюзі системи автоматизації; недостатнє освітлення робочої зони при технічному обслуговуванні.

2. Друга група. Рідке комплексного добрива включає компоненти, що становлять хімічну небезпеку для персоналу: фосфатна кислота (53%) – їдка рідина, викликає хімічні опіки шкіри та слизових оболонок; аміачна вода (20%) – при випаровуванні виділяє аміак, що подразнює верхні дихальні шляхи, очі та шкіру; хлористий калій (60%) – при потраплянні на шкіру та слизові спричиняє подразнення, у вигляді пилу при розжарюванні може викликати ураження органів дихання; карбамід (46%) – відносно малотоксичний, проте тривалий контакт спричиняє подразнення шкіри.

Особливу небезпеку становить одночасна присутність у повітрі кількох речовин односпрямованої дії фосфатна кислота з аміаком.

Таким чином, виробничий процес характеризується поєднанням хімічних та фізичних факторів ризику, що потребує комплексного підходу до організації безпечних умов праці [29].

Для забезпечення безпечних умов праці на ділянці розливу рідких мінеральних добрив необхідно забезпечити впровадження таких заходів:

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Метеорологічні умови та вентиляція. Мікроклімат виробничого приміщення [30]:

– у холодний період – температура 17-19 °С, відносна вологість 40-60%, швидкість руху повітря 0,2 м/с;

– у теплий – 20-22 °С, вологість 40-60%, швидкість 0,3 м/с.

2. Приміщення повинне бути оснащено припливно-витяжною вентиляцією з триразовим обміном повітря на годину. З огляду на можливе випаровування аміаку та кислотних парів, місцева витяжна вентиляція встановлюється безпосередньо над точками розливу та зонами з'єднань трубопроводів [31].

3. Персонал, який задіяний на ділянці розливу, повинен використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) [32]:

– кислотостійкий гумовий фартух та рукавички;

– захисні окуляри або щиток для обличчя;

– гумові чоботи;

– протигаз або респіратор.

Трубопроводи та ємності повинні бути виготовлені з корозійностійких матеріалів (нержавіюча сталь, поліпропілен), а всі з'єднання ущільнені фторопластовими прокладками, стійкими до дії кислот та лугів. Рівень шуму від насосного обладнання та частотних перетворювачів не повинен перевищувати допустимої норми 85 дБ. Насоси встановлюються на віброізолюючих підкладках із гумового матеріалу. При тривалій роботі поблизу насосного агрегату персонал використовує протишумові навушники або беруші.

4. Система автоматизації на базі ADAM-5000/TCP живиться від блока живлення Siemens SITOP 24 В DC, що відноситься до безпечної наднизької напруги. Однак силові кола насосів та клапанів працюють від мережі 220/380 В AC. Для забезпечення електробезпеки персоналу передбачено такі заходи [32]:

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- захисне заземлення всього електрообладнання;
- застосування пристроїв захисного відключення;
- надійна ізоляція струмопровідних частин;
- використання діелектричних рукавичок та килимків при обслуговуванні електрообладнання.

5. Штучне освітлення робочої зони має відповідати нормам згідно з ДБН В.2.5-28: освітленість на рівні робочої поверхні становить не менше 300 Лк. На випадок аварійного відключення основного живлення передбачено аварійне освітлення від автономного джерела [33].

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 8

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Для того щоб впровадити запропоновану та розроблену систему автоматизації ділянки розливу рідких добрив, необхідно закласти витрати за трьома напрямками: закупівля контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації, їх транспортування, а також виконання монтажних і пусконаладжувальних робіт.

Після проведеного вибору засобів автоматизації та поточних цін сформовано таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Розрахунок вартості КВП і А

№ п/п	Назва приладу	Тип приладу	К-сть, шт.	Вартість одного приладу, грн.	Загальна вартість, грн.
1	Датчик температури	Endress+Hauser TR10	2	29 822	59 644
2	Датчик рівня	WIKA ELM 63	2	4 633	9 266
3	Датчик витрати	Flomec G2S05A09GM	2	28 600	57 200
4	pH-датчик	E+H CPS11D + CM442	1	40 633	40 633
5	Датчик ваги	Zemic H8C-C3-50kg-4B	1	3 996	3 996
6	Датчик швидкості	Schneider Electric XSAV11373	1	7 029	7 029
7	Оптичний датчик	Omron E3FA-DP23	1	4 256	4 256
8	Реле	Phoenix Contact REL-MR-24DC/21	6	283	1 698
9	Частотний перетворювач	INVT GD20-004G-4	3	12 590	37 770

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 8.1.

№ п/п	Назва приладу	Тип приладу	К-сть, шт.	Вартість одного приладу, грн.	Загальна вартість, грн.
10	Запірний клапан	VY1100-202N	6	3 410	20 460
11	Модуль аналогового виходу	ADAM-5024	1	12 364	12 364
12	Модуль аналогового входу	ADAM-5017	1	11 325	11 325
13	Шасі з Ethernet	ADAM-5000/TCP	1	21 428	21 428
14	Модуль дискретного входу	ADAM-5051	1	4 180	4 180
15	Модуль релейного виходу	ADAM-5069	2	5 984	11 968
16	Блок живлення	Siemens SITOP PSU100S 6EP1332-2BA20	1	3 450	3 450
ВСЬОГО					306 667

Загальна сума капітальних витрат визначається у відповідності до формули 8.1 [34]:

$$B = B_1 + B_2 + B_3 + B_4, \quad (8.1)$$

де B_1 – вартість КВП і А, грн.;

B_2 – транспортно-заготівельні витрати, грн.;

B_3 – витрати на монтаж і встановлення обладнання, грн.;

B_4 – витрати на пусконаладжувальні роботи, грн.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Отже, загальна вартість КВП і А згідно з таблицею 8.1:

$$B_1 = 306\,667 \text{ грн.}$$

Транспортно-заготівельні витрати – 25% від B_1 :

$$B_2 = 306\,667 \cdot 0,25 = 76\,667 \text{ грн.}$$

Витрати на монтажні роботи – 45% від B_1 :

$$B_3 = 306\,667 \cdot 0,45 = 138\,000 \text{ грн.}$$

Витрати на пусконаладжувальні роботи – 10% від B_1 :

$$B_4 = 306\,667 \cdot 0,10 = 30\,667 \text{ грн.}$$

Загальна сума капітальних витрат у відповідності до формули 8.1 наступна:

$$B = 306\,667 + 76\,667 + 138\,000 + 30\,667 = 552\,001 \text{ грн.}$$

За підсумками отриманих розрахунків встановлено, що безпосередньо на придбання КВП і А потрібно виділити 306 667 грн., тоді як повний обсяг капітальних вкладень з урахуванням доставки, монтажу та пуск і налагодження становить 552 001 грн.

Попри відносно значний розмір початкових інвестицій, впровадження розробленої системи автоматизації є економічно обґрунтованим рішенням: автоматизований контроль параметрів розливу виключає можливість помилок, зумовлених людським фактором, підтримує стабільність технологічного режиму та знижує ймовірність відмов обладнання, а також скорочує втрати від браку і незапланованих простоїв виробництва [35].

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи на тему «Автоматизована система керування ділянкою розливу технологічного процесу виробництва добрив» вирішено сім основних задач.

Аналіз технологічного процесу розливу рідких мінеральних добрив дозволив виділити такі контури керування з параметрами: рівень у реакторах, витрата компонентів, температура в зонах реакції, кислотність суміші (рН), маса дози при наповненні тари, наявність тари та швидкість конвеєрної лінії. Встановлено, що критичними ділянками є температурний режим реакторів і точність дозування готового продукту.

Розроблено функціональну схему автоматизації, що охоплює два реактори змішування, дозувальний вузол і конвеєрну лінію та відображає повний ланцюг від первинного перетворювача до мікропроцесорного модуля і виконавчого органа для кожного з контурів.

Обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації. До вимірювальної частини включено електромагнітні витратоміри EPC-25, термоперетворювачі Endress+Hauser TR10, аналізатор кислотності CPS11D/CM442, датчики рівня WIKA ELM 63, тензодатчик Zemic H8C-C3-50kg, фотодатчик Omron E3FA-DP12 та індуктивний датчик швидкості Schneider Electric XSAV11373. Виконавчі органи – запірні клапани, реле та частотні перетворювачі.

Розроблено схему керування на основі мікропроцесорних модулів серії ADAM-5000 (Advantech). Апаратну частину сформовано з шасі ADAM-5000/TCP та відповідних модулів ADAM-5017, ADAM-5024, ADAM-5051 і ADAM-5069. Живлення забезпечено блоком Siemens SITOP PSU100S. Програмну частину реалізовано у середовищі Adam View мовою Basic Script у вигляді дев'яти скриптів SCR1–SCR9.

Виконано розрахунок системи автоматичного керування на ділянці розливу. За результатами синтезу ПІ-регулятора визначено коефіцієнти

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пропорційної та інтегральної складових, що забезпечують перехідний процес із перегулюванням не більше 5 % та часом регулювання менше 12 с. Отримані показники якості відповідають вимогам до досліджуваної системи.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях на ділянці розливу рідких мінеральних добрив. Визначено основні шкідливі та небезпечні виробничі чинники, встановлено вимоги до організації робочих місць операторів і заходи захисту персоналу при виникненні аварійних ситуацій.

Розраховано витрати на впровадження автоматизованої системи керування ділянкою розливу рідких добрив. Вартість технічних засобів становить 306 667 грн., а повний обсяг капітальних вкладень з урахуванням доставки, монтажу та пусконаладжувальних робіт – 552 001 грн.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волошин М. Д. Технологія неорганічних речовин. Частина 3. Мінеральні добрива: навч. посіб. М. Д. Волошин, Я. М. Черненко, А. В. Іванченко, М. А. Олійник. URL: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/7/z2-7-b6.pdf> (дата звернення: 02.05.2026).
2. Господаренко Г. М. Аміакати. Велика українська енциклопедія. URL: <https://vue.gov.ua/Аміакати> (дата звернення: 06.05.2026).
3. ДСТУ 7370:2013. Амонію нітрат (селітра аміачна). Технічні умови. URL: https://dnaop.com/html/62413/doc-ДСТУ_7370_2013
4. Лісовий М. В., Дзюба І. М., Жуковський А. І., М. Азотні добрива. Енциклопедія Сучасної України. URL: <https://esu.com.ua/article-42790> (дата звернення: 01.05.2026).
5. Барало О. В., Самойленко П. Г., Гранат С. Є., Ковальов В. О. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування. URL: <https://surl.li/tffslx> (дата звернення: 04.04.2026).
6. Бобух А. О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: навч. посіб. URL: https://www.researchgate.net/publication/277864202_Avtomatizovani_sistemi_keruvanna_tehnologicnimi_procesami_Navc_posibnik (дата звернення: 04.05.2026).
7. Рідкі комплексні добрива від виробника. УТК ХімАльянс. URL: <https://utk.in.ua/liquid-fertilizers/> (дата звернення: 23.04.2026).
8. Датчик температури. URL: <https://peko.com.ua/process-sensors/temperature-sensors/endress-hauser-tr10-fba1casx2a000> (дата звернення 12.04.2026).
9. Датчик рівня. URL: <https://profikom.com.ua/ua/p965978173-signalizator-rele-urovnya.html> (дата звернення 19.04. 2026).
10. Датчик витрати. URL: <https://avaks.com.ua/ua/p1804391060-elektromagnitnyj-rashodomer-schetchik.html> (дата звернення 03.04.2026).

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. рН-датчик. URL: <https://trade-control.com.ua/ua/endress-hauser-cps-11d-7ba21> (дата звернення 05.05.2026).
12. Датчик ваги. URL: <https://www.mobik.ua/ukr/catalog/det/tenz/product.htm?id=1906> (дата звернення 05.04.2026).
13. Датчик швидкості. URL: <https://trade-control.com.ua/ua/products/schneider-electric-xsav11373> (дата звернення 12.04.2026).
14. Оптичний датчик. URL: <https://peko.com.ua/sensors/photosensors/omron-e3fa-dp23> (дата звернення 03.03.2026).
15. Реле. URL: <https://abr.com.ua/odynochne-rele-rel-mr-24dc-21-phoenix-contact-2961105> (дата звернення 01.05.2026).
16. Частотний перетворювач. URL: <https://inverterplus.com.ua/ua/p772732603-4kvt380v-95a-invertor.html> (дата звернення 14.04.2026).
17. Запарний клапан. URL: <https://armashop.ua/elektromagnitnyy-klapan-ode-21h8ke120-normalno-zakrytyy-1-2/> (дата звернення 11.04.2026).
18. ADAM-5017. URL: https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5017/mod_54640854-dfd7-4b11-ac08-452b-7b56d763 (дата звернення 07.04.2026).
19. ADAM-5024. URL: https://www.advantech.com/en-us/products/8c0cb227-a17b-4fe4-a53e-46360a9f353b/adam-5024/mod_c573b64b-843a-46d6-90a0-96031d8539c0 (дата звернення 07.04.2026).
20. ADAM-5051. URL: <https://www.wolfautomation.com/16-channel-digital-input-module> (дата звернення 07.04.2026).
21. ADAM-5069. URL: <https://www.digikey.com/en/products/detail/advantech-corporation/ADAM-5069-AE/16399245> (дата звернення 07.04.2026).
22. ADAM-5000/TCP. URL: https://www.advantech.com/en-us/products/38d14508-c3eb-43f8-ab8f-a0dd5f2f7708/adam-5000-tcp/mod_7d8ea69c-0ac7-4ff6-a27e-ed2af71ed7e6 (дата звернення 07.04.2026).
23. Технічний опис реле. URL: [https://oenindia.com/uploads/userfiles/relays_Technical_Write_up\(1\)\(1\).pdf](https://oenindia.com/uploads/userfiles/relays_Technical_Write_up(1)(1).pdf) (дата звернення 11.04.2026).

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

24. Блок живлення. URL: <https://prom.ua/p1641249639-blok-pitaniya-siemens.html> (дата звернення 11.04.2026).

25. Жученко А. І., Козаневич З. Я., Тюріна Є. О. Сучасна теорія автоматичного керування. Багатоконтурні системи керування: навч. посіб. для студ. спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 85 с.

26. Modern control systems, 9th edition, Richard C. Dorf and Robert H. Bishop, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2021/Dorf_Modern_control_systems_2017_1106.pdf (дата звернення 03.03.2026).

27. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: підручник. 2-ге вид., перероб. І доп. URL: <https://lnk.ua/jchrgq85C> (дата звернення 13.04.2026).

28. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 09.07.2024 № 1192 «Про затвердження державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони». URL: <https://moz.gov.ua/uk/decrees/nakaz-moz-ukrayini-vid-09-07-2024-1192> (дата звернення 24.05.2026).

29. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99?utm_source=chatgpt.com#Text (дата звернення 15.05.2026).

30. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3873910458809321241?doc_type=2&utm_source=chatgpt.com (дата звернення 15.05.2026).

31. НПАОП 0.00-7.17-18 «Мінімальні вимоги безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками ЗІЗ на робочому місці». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1494-18?utm_source=chatgpt.com#Text (дата звернення 15.05.2026).

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

32. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму». URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99?utm_source=chatgpt.com#Text (дата звернення 15.05.2026).

33. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_28/1-1-0-1188 (дата звернення 15.05.2026).

34. Азюковський О. О., Кошеленко Є. В., Папаїка Ю. А., Худолій С. С., Луценко І. М., Лисенко О. Г., Дяченко Г. Г., Балахонцев О. В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (G3 «Електрична інженерія») першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2025. 36 с.

35. Хорольський В.П., Коренець Ю.М. Автоматизація виробничих процесів: підручник. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2022. 400 с.

					АтаБС-014.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		