

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Система автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для
зневоднення осадів стічних вод
Назва теми

Рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)
Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ
Шифр

Виконав здобувач 3 курсу, група АКІТРС-23-1  Олександр ВАСИЛИШИН
Шифр Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Керівник д-р техн. наук, проф.  Валерій МАРТИНЮК
Науковий ступінь, учене звання Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Нормоконтролер канд. техн. наук, доц.  Галина РАДЕЛЬЧУК
Науковий ступінь, учене звання Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки

 Людмила КОРЕЦЬКА
Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

15.06.2026р.
Дата

Хмельницький 2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інформаційних технологій
Кафедра Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТтаР

Людмила КОРЕЦЬКА

07 лютого 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Василишину Олександрю Васильовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Система автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод

Керівник роботи Мартинюк Валерій Володимирович, д-р техн. наук, проф.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 20 січня 2026 р. № 7

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2026 р.

3 Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики





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

Вступ. Проблематика зневоднення осадів стічних вод. Основна частина. Розробка програми роботи системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М. В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Радельчук Г. І., доцент кафедри АКІТтаР		

7 Дата видачі завдання 07 лютого 2026 р.

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Система автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод».

Автор роботи: Олександр ВАСИЛИШИН

Керівник роботи: Валерій МАРТИНЮК

Пояснювальна записка: 69 с., 21 рис., 40 джерел.

Графічна частина: 13 презентаційних слайдів.

АЛГОРИТМ, ПРОГРАМОВАНИЙ ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР, ПОЛІМЕРНИЙ РОЗЧИН, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.

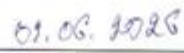
Мета роботи: розроблення автоматизованої системи приготування полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод на основі контролера Siemens Simatic S7-1200 та ПД-алгоритмів керування, що дозволить оптимізувати витрату реагенту та підвищити ефективність видалення вологи.

Проведено аналіз автоматизованої системи приготування полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод на основі контролера Siemens Simatic S7-1200 та ПД-алгоритмів керування, що дозволить оптимізувати витрату реагенту та підвищити ефективність видалення вологи.

На основі критеріїв надійності, модульності та стійкості до агресивних середовищ обрано сучасний комплекс засобів автоматизації фірми Siemens. В якості центрального керуючого пристрою застосовано програмований логічний контролер Simatic S7-1200, який забезпечує швидкодію обробки технологічних сигналів. Для оперативного моніторингу та діагностики системи персоналом обрано графічну операторську панель Simatic HMI KTP700 Basic.



Підпис студента



Дата

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	6
1 ПРОБЛЕМАТИКА ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД.....	9
1.1 Фізико-хімічні основи та ієрархія розподілу вологи в осадах.....	9
1.2 Оцінка водовіддачі осадів стічних вод за показником часу капілярного всмоктування.....	12
1.3 Технологічні особливості та конструкція установки приготування полімерного розчину	13
1.4 Аналіз методів керування процесом приготування розчину	16
1.5 Обґрунтування вибору контролерів Siemens для автоматизації вузла приготування полімеру	19
1.6 Висновки до першого розділу	21
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	22
2.1 Розробка структурної схеми система автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод.....	22
2.2 Вибір обладнання для системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод.....	25
2.3 Розробка електричної схеми системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод.....	30
2.4 Висновки до другого розділу	42

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Система автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод <i>Пояснювальна записка</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Василишин О.В.			14.06.23				
Перевір.	Мартинюк В.В.			03.06.23			4	69
Реценз.						<i>ХНУ, АКІТРс-23-1</i>		
Н. контр.	Радельчук Г. І.			01.07.23				
Затверд.	Корсунька Л. О.							

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРИГОТУВАННЯМ ПОЛІМЕРНОГО РОЗЧИНУ ДЛЯ ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД	44
3.1 Алгоритм роботи системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод.....	44
3.2 Розробка програми роботи системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод.....	47
3.3 Розробка людино-машинного інтерфейсу НМІ оператора системи	56
3.4 Висновки до третього розділу	61
ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	65

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективна робота сучасних комплексів очисних споруд неможлива без впровадження високоточних систем автоматизації процесів обробки осадів стічних вод. Надлишковий активний мул, що утворюється на очисних спорудах МКП «Хмельницькводоканал», характеризується надзвичайно складною колоїдною структурою та високою вологістю до 99,5%. Процес механічного зневоднення таких осадів безпосередньо залежить від точності приготування та дозування флокулянтів, які руйнують міцні зв'язки вологи з твердою фазою.

Однак на багатьох підприємствах водопровідно-каналізаційного господарства процес підготовки реагентів залишається або не повністю автоматизованим, або базується на застарілих релейних схемах, що не враховують інерційність розчинення полімерів та мінливість фізико-хімічних властивостей мулу. Це призводить до перевитрати дорогого реагенту, нестабільної вологості кеку та збільшення експлуатаційних витрат.

Автоматизована система приготування полімерного розчину на базі сучасного програмованого логічного контролера Siemens Simatic S7-1200 дозволяє вирішити ці проблеми завдяки використанню ПД-регулювання, точному контролю часу дозрівання макромолекул та мінімізації показника часу капілярного всмоктування.

Актуальність роботи зумовлена потребою у створенні надійної, енергоефективної та високоточної автоматизованої системи керування вузлом приготування флокулянту, яка б забезпечувала стабільно високу якість зневоднення осадів в умовах динамічних змін параметрів вхідного середовища.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи приготування полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод на основі контролера Siemens Simatic S7-1200 та ПД-алгоритмів керування, що дозволить оптимізувати витрату реагенту та підвищити ефективність видалення вологи.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі завдання:

- проаналізувати фізико-хімічні властивості осадів стічних вод, форми зв'язку вологи та існуючі методи оцінки водовіддачі;
- дослідити технологічний процес роботи трикамерної установки приготування полімеру та сформулювати вимоги до системи автоматизації;
- розробити структурну та функціональну схеми системи автоматичного керування на базі обладнання Siemens;
- обґрунтувати вибір компонентної бази, включаючи датчики рівня, витратоміри та частотні перетворювачі;
- розробити алгоритм програмного забезпечення для ПЛК у середовищі ПІА Portal для реалізації прецизійного дозування.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого приготування робочих розчинів флокулянтів для обробки осадів стічних вод.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизації вузла приготування полімеру на базі ПЛК Siemens Simatic S7-1200.

Практична значимість отриманих результатів.

В роботі розроблено прототип автоматизованої системи, яка здійснює моніторинг та керування обладнанням приготування полімерного розчину, а саме електромагнітними клапанами подачі води, приводом мішалки та шнековим дозатором флокулянта. Використання розробленого пристрою дозволяє підприємствам водопровідно-каналізаційного господарства зменшити витрати ручної праці операторів, заощадити дорогу хімічну сировину, а також підвищити ефективність механічного зневоднення осадів стічних вод завдяки дотриманню оптимальних технологічних умов та точної концентрації реагенту.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 70 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 21 рисунок, список використаних джерел вміщує 40 найменувань.

У вступі обґрунтована актуальність кваліфікаційної роботи,

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сформульовано мету та задачі кваліфікаційної роботи, відображено її практичне значення.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: аналіз сучасних технологій механічного зневоднення осадів стічних вод, огляд існуючих систем автоматизації приготування реагентів на очисних спорудах водоканалів та обґрунтування вибору технологічної платформи для розробки власної системи.

У другому розділі розроблено функціонально-технологічну та електричну схеми автоматизованої системи, проведено вибір апаратних компонентів, а саме промислового контролера, датчиків рівня та витрати, пускорегулювальної апаратури виконавчих механізмів та описано принципи їх взаємодії.

У третьому розділі розроблено прикладне програмне забезпечення для програмованого логічного контролера, реалізовано алгоритми циклічного керування послідовністю технологічних етапів, створено людино-машинний інтерфейс для операторської панелі з оптимізованою пошаровою структурою відображення даних, а також проведено успішну компіляцію та тестування працездатності розробленої системи.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ПРОБЛЕМАТИКА ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД

1.1 Фізико-хімічні основи та ієрархія розподілу вологи в осадах

Процес повної біологічної та механічної очистки стічних вод на очисних спорудах МКП «Хмельницькводоканал» супроводжується генеруванням значних обсягів надлишкового активного мулу. Згідно з ДБН В.2.5-75:2013, ці осади характеризуються критично високою початковою вологістю від 96% до 99,5%, що вимагає їх обов'язкового зневоднення перед утилізацією [1].

Сучасні дослідження [2] підтверджують, що осад є надскладною багатофазною системою, де вода утримується різними фізико-хімічними силами. Ефективність відокремлення води безпосередньо залежить від її енергетичного стану та локалізації в структурі мулу. На рисунку 1.1 зображена ієрархічна модель розподілу вологи.



Рисунок 1.1 – Ієрархічна модель розподілу вологи [2]

Відповідно до ієрархічної моделі розподілу вологи, яка зображена на рисунку 1.1, виділяють чотири ключові категорії води:

– вільна вода, яка знаходиться поза структурою флоккул, та не пов'язана з

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

твердими частинками і тому видаляється найлегше гравітаційним шляхом або при мінімальному тиску;

– капілярна вода, яка утримується силами поверхневого натягу в капілярах та мікропорах між агрегатами часток;

– поверхнева або адсорбційна вода, яка формує стійкі гідратні оболонки навколо колоїдних частинок за рахунок молекулярних сил;

– внутрішньоклітинна вода, яка знаходиться всередині клітин мікроорганізмів активного мулу.

Як зазначається у дослідженні [2], основною перешкодою для досягнення високої концентрації сухої речовини є переведення внутрішньоклітинної та адсорбційної води у вільний стан. Саме на руйнування цих зв'язків спрямована дія флокулянтів, дозування яких на МКП «Хмельницькводоканал» автоматизується на базі ПЛК Siemens.

Неналежне управління цими відходами створює серйозні ризики для екологічної безпеки регіону. Накопичення рідких осадів на мулових майданчиках призводить до деградації земельних ресурсів, поширення патогенної мікрофлори та створює загрозу інфільтрації забруднюючих речовин у підземні водоносні горизонти, що особливо небезпечно в умовах зростаючого антропогенного навантаження на екосистеми Хмельниччини [3].

У відповідності до сучасних досліджень, осаді стічних вод слід розглядати як специфічні багатокомпонентні колоїдні системи, де тверда фаза представлена складним конгломератом органічних та мінеральних часток. Основна складність їх обробки полягає в тому, що значна частина рідкої фази утримується потужними внутрішньомолекулярними та адсорбційними силами.

Для обґрунтування вибору методів автоматизації процесу необхідно детально класифікувати форми зв'язку води в осадах за рівнями енергії зв'язку у відповідності до роботи [4].

Вільна вода утримується лише механічно у великих порах між флокулами; вона легко видаляється шляхом гравітаційного ущільнення.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Капілярна вода утримується силами поверхневого натягу в мікропорах розміром $< 10^{-3}$ мм.

Адсорбційна та осмотична вода формує гідратні оболонки навколо колоїдних частинок за рахунок дипольної взаємодії молекул води з поверхнею твердої фази.

Внутрішньоклітинна та хімічно зв'язана вода входить до складу біологічних клітин активного мулу та кристалічних структур.

Такий складний енергетичний зв'язок вологи з твердою часткою робить механічне зневоднення без попередньої фізико-хімічної підготовки технологічно неефективним. Як зазначає М. М. Гіроль, максимальна ефективність видалення вологи досягається лише за умови руйнування структури флокул активного мулу та переведення зв'язаної води у вільний стан [5].

Активний мул за своїми властивостями є структурно-складною біополімерною системою. Високий вміст позаклітинних полімерних речовин, а саме екзополісахаридів, формує навколо клітин мікроорганізмів міцну гідрофільну матрицю, яка активно утримує осмотичну воду. Без цілеспрямованого руйнування цих структурних зв'язків осад зберігає високу текучість навіть під значним тиском на стрічкових фільтр-пресах, що критично знижує продуктивність цехів зневоднення [6].

Ефективне кондиціонування досягається шляхом дозування високомолекулярних флокулянтів. Механізм їх дії базується на дестабілізації колоїдної системи за рахунок нейтралізації електричного заряду часток та утворення полімерних «містків», що зв'язують мікрофлокули у великі макрофлокули з капілярною структурою.

Це дозволяє досягти нормативної вологості кеку від 75% до 80%, необхідної для його подальшої утилізації. Саме тому автоматизація вузла дозування, заснована на точних ПД-алгоритмах, є ключовою умовою для стабілізації процесу та запобігання перевитратам дорогого реагенту [7].

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Оцінка водовіддачі осадів стічних вод за показником часу капілярного всмоктування

Для вибору оптимальної стратегії керування та забезпечення стабільності процесу кондиціонування необхідно використовувати об'єктивний критерій, який би в реальному часі відображав здатність осаду віддавати вологу. У сучасній світовій практиці таким базовим показником є час капілярного всмоктування.

У відповідності із дослідженнями, проведеними у праці [2], час капілярного всмоктування характеризує фільтраційну здатність осаду під дією виключно капілярних сил. Фізичний зміст вимірювання часу капілярного всмоктування полягає у визначенні часу, за який фронт рідини, виділеної з осаду, проходить певну відстань по стандартизованому фільтрувальному паперу.

Як показано в джерелі [2], значення часу капілярного всмоктування корелює з кількістю дрібних колоїдних часток. Чим вищий рівень дисперсності осаду, тим більший гідравлічний опір він чинить фільтрації, що призводить до зростання показника часу капілярного всмоктування.

Для очисних споруд Хмельницького характерні коливання часу капілярного всмоктування в межах від 100 с до 300 с для необробленого мулу. Завданням автоматизованої системи на базі ПЛК Siemens є зниження цього показника до мінімально можливого рівня від 10 с до 25 с шляхом точного дозування флокулянту.

У роботі [2] встановлено, що залежність часу капілярного всмоктування від дози реагенту має нелінійний характер з чітко вираженим мінімумом. Недостатня доза реагенту не забезпечує повної нейтралізації заряду часток, залишаючи час капілярного всмоктування високим.

Оптимальна доза - це точка мінімуму часу капілярного всмоктування, де відбувається максимальна агрегація часток. Передозування призводить до "перифлокуляції", зростання в'язкості розчину та повторного погіршення

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

показника часу капілярного всмоктування.

Саме тому використання статичних уставок у релейних системах є неефективним. Система автоматизації повинна реалізовувати алгоритм ПД-регулювання, який би адаптував подачу порошку залежно від поточної якості мулу. ПЛК Siemens S7-1200, використовуючи дані з датчиків витрати та каламутності, дозволяє системі "триматися" в зоні мінімального часу капілярного всмоктування, що гарантує наступні переваги:

- максимальна швидкість фільтрації, а саме скорочення часу перебування осаду на фільтр-пресі;
- підвищення вмісту твердих частинок, тому що чим нижчий час капілярного всмоктування, тим вищий вміст сухої речовини в кеку;
- економію реагенту, а саме запобігання роботі в зоні передозування.

Дослідження, які наведені в роботі [2] показують пряму залежність між часом капілярного всмоктування та фінальною вологістю кеку. Автоматизація, орієнтована на мінімізацію часу капілярного всмоктування, дозволяє підвищити вміст сухої речовини в кеку від 3% до 5%, що для МКП «Хмельницькводоканал» означає економію сотень тонн палива при подальшому транспортуванні та утилізації осадів.

1.3 Технологічні особливості та конструкція установки приготування полімерного розчину

Ефективність кондиціювання осадів на МКП «Хмельницькводоканал» безпосередньо залежить від якості приготованого робочого розчину флокулянту. Оскільки сучасні високомолекулярні поліелектроліти є надзвичайно чутливими до умов розчинення та механічних навантажень, для їх підготовки використовується спеціалізована трикамерна установка безперервної дії.

Конструктивно установка має вигляд резервуару, який розділений

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перегородками на три послідовні камери, кожна з яких виконує специфічну технологічну функцію.

У камері розчинення та змішування відбувається первинний контакт сухого порошку з водою. Для запобігання утворенню нерозчинних агломератів, які називаються «риб'ячими очами», використовується спеціальний інжектор-змочувач. Згідно з дослідженнями [2], якість первинного змочування визначає подальшу в'язкість розчину. У цій камері працює високооборотна мішалка, яка забезпечує турбулентність, необхідну для гідратації кожної частинки полімеру.

Камера дозрівання та гідратації є центральним вузлом, де відбувається фізико-хімічний процес «розгортання» довгих ланцюгів полімерних молекул. На відміну від першої камери, тут використовується низькооборотна лопатева мішалка.

Це критично важливо, оскільки надмірне механічне зусилля, яке характеризується значним градієнтом швидкості, може призвести до розриву полімерних зв'язків, а це радикально знизить ефективність флокуляції та збільшить показник часу капілярного всмоктування [2].

Камера накопичення виконує роль буферної ємності, з якої готовий розчин забирається насосами-дозаторами для подачі на фільтр-прес. Наявність цієї камери дозволяє процесу підготовки бути безперервним, виключаючи потрапляння «свіжого» (недозрілого) розчину в технологічну лінію.

Для досягнення високих показників сухої речовини в кеку на очисних спорудах МКП «Хмельницькводоканал» використовується спеціалізоване обладнання для підготовки флокулянту.

Сучасна установка приготування полімеру призначена для переведення сухого порошкоподібного реагенту в активний стан шляхом його розчинення у воді до заданої концентрації, а саме від 0,1 до 0,5%.

Технологічний процес передбачає суворе дотримання часу «дозрівання» розчину, оскільки неповне розчинення макромолекул призводить до утворення гелеподібних згустків «риб'ячих очей».

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це не лише знижує ефективність флокуляції, а й спричиняє забивання фільтрувальних перегородок зневоднювального обладнання, що робить автоматизацію контролю пріоритетним завданням [6].

Конструктивно сучасні установки, які пропонуються для модернізації об'єктів водоканалу, мають трикамерну структуру, яка працює за принципом послідовного переливу.

У камері змішування відбувається первинний контакт сухого реагенту з водою. Для забезпечення ефективного змочування кожної гранули використовується турбулентний водяний інжектор та високооборотна мішалка. Це запобігає агломерації порошку на поверхні води [7].

У камера гідратації розчин перебуває протягом визначеного технологічного часу. Низькооборотні лопатеві мішалки забезпечують гомогенність суміші, не руйнуючи при цьому довгі полімерні ланцюги, що є критичним для збереження активності флокулянта [7].

Камера накопичення виконує роль буферної ємності, з якої готовий реагент забирається насосами-дозаторами. Така схема виключає потрапляння "сирого" (недодозрілого) реагенту в систему подачі осаду [7].

Надійність роботи установки на МКП «Хмельницькводоканал» безпосередньо залежить від точності її виконавчих механізмів. Ключовим вузлом дозування сухого реагенту є шнековий живильник, що приводиться в дію електродвигуном з частотним регулюванням.

Це дозволяє системі автоматизації плавно змінювати швидкість подачі порошку залежно від поточної витрати води. Для запобігання «зависанню» порошку в бункері через високу вологість, живильник доукомплектується вібромотором або акустичним активатором, робота якого синхронізується з циклом дозування [8].

Система подачі води включає електромагнітний клапан, сітчастий фільтр та редуктор тиску. Стабільний тиск є критичним для роботи водяного інжектора. Для контролю об'єму води використовується імпульсний витратомір

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або ротаметр з цифровим виходом, що передає дані на контролер для розрахунку реальної пропорції суміші [9].

Для моніторингу стану робочого процесу в камерах застосовуються датчики рівня. Враховуючи високу в'язкість та клейкість полімерного розчину, використання традиційних поплавкових датчиків є недоцільним через їхнє швидке забруднення та залипання.

Оптимальним рішенням для модернізації є ультразвукові безконтактні рівнеміри. Вони дозволяють ПЛК точно визначати моменти включення циклу приготування та аварійної зупинки при переповненні. Стан кожної мішалки контролюється за допомогою датчиків струму або допоміжних контактів контакторів, що дозволяє миттєво діагностувати аварію приводу [10].

Ключовим виконавчим механізмом, який підлягає автоматизації, є шнековий живильник сухого полімеру. Шнековий дозатор обладнаний електроприводом з частотним регулюванням. Саме швидкість обертання шнека визначає масову витрату реагенту.

Бункер для порошку оснащений системою підігріву для запобігання конденсації вологи, оскільки полімер є гігроскопічним. Згідно з вимогами експлуатації, будь-яка волога в бункері призводить до забивання шнека, що миттєво порушує ПІД-регулювання концентрації.

1.4 Аналіз методів керування процесом приготування розчину

У сучасній практиці автоматизації процесів реагентної обробки осадів на комунальних підприємствах, таких як МКП «Хмельницькводоканал», спостерігається перехід від простих дискретних систем до складних адаптивних алгоритмів керування.

Історично на об'єктах водоканалу домінувало релейне керування, реалізоване на базі логічних схем або найпростіших реле рівня. При такому методі регулювання здійснюється за принципом «увімкнено/вимкнено» на

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основі сигналів від граничних датчиків рівня.

Релейна схема має суттєві технічні недоліки: вона не здатна підтримувати точну концентрацію розчину при зміні вхідного тиску води або нерівномірній подачі сухого полімеру через його злежування.

Це призводить до значних коливань в'язкості готового продукту, що негативно позначається на стабільності процесу флокуляції. Крім того, постійні пуски та зупинки електродвигунів шнеків та насосів при релейному керуванні зумовлюють підвищений знос пускової апаратури та скорочують термін служби механічних вузлів установки [11].

На відміну від релейного методу, безперервне ПІД-регулювання на базі програмованих логічних контролерів дозволяє підтримувати технологічні параметри з прецизійною точністю. Математично ПІД-алгоритм розраховує керуючий сигнал $u(t)$ на основі різниці, а саме помилки між заданою концентрацією та фактичними даними за формулою:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right), \quad (1.1)$$

де K_p – коефіцієнт підсилення;

T_i – стала часу інтегрування;

T_d – стала часу диференціювання.

У контексті приготування полімеру це означає, що швидкість обертання шнека плавно підлаштовується під реальну витрату води, мінімізуючи динамічну похибку [12].

Використання частотно-регульованих приводів у поєднанні з ПІД-алгоритмами дозволяє досягти наступних переваг:

– підтримка концентрації з похибкою до $\pm 0,5\%$, що виключає перевитрати флокулянту;

– стабільна в'язкість забезпечує формування міцних макрофлокул та

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високий вміст сухої речовини в кеку;

– відсутність стрибків струму та робота в оптимальних режимах знижують енергоспоживання на 12–18% [13, 14].

Впровадження ПД-регулювання на базі контролерів Siemens S7-1200 є стратегічним кроком для модернізації цеху зневоднення, що дозволяє перевести процес на рівень повної цифровізації.

Порівняння методів наведено в таблиці 1.1. Особливістю процесу приготування полімерного розчину як об'єкта керування є значна інерційність та наявність транспортного запізнення.

Таблиця 1.1 – Порівняння методів керування процесом приготування полімеру

Параметр порівняння	Релейне керування	ПД-регулювання
Точність підтримки концентрації	Низька ($\pm 5-10\%$)	Висока ($\pm 0,5-1\%$)
Плавність регулювання	Відсутня - ступінчаста	Висока - неперервна
Вплив на ресурс обладнання	Високий знос двигунів	Ощадливий режим
Можливість інтеграції в SCADA	Обмежена	Повна через PROFINET/Modbus
Складність налаштування	Низька	Середня - потребує тюнінгу ПД

При релейному керуванні ці фактори призводять до виникнення автоколивань рівня та концентрації, амплітуда яких може перевищувати допустимі технологічні межі. Це зумовлено тим, що дискретний сигнал не враховує поточну динаміку наповнення камер, що призводить до «перерегулювання» та нерівномірного розподілу гранул реагенту в об'ємі води [15, 16].

Впровадження ПД-регулювання дозволяє компенсувати ці недоліки. Пропорційна складова алгоритму забезпечує миттєву реакцію на зміну витрати

води, інтегральна складова усуває статичну похибку дозування, а диференціальна – дозволяє врахувати швидкість зміни параметрів, що особливо важливо при частих змінах продуктивності цеху зневоднення. Такий підхід трансформує установку в інтелектуальну ланку АСУ ТП, здатну адаптуватися до нестабільного тиску в мережі водоканалу [17].

Цифрова система керування також дозволяє вести облік мотогодин обладнання та реалізовувати алгоритми предиктивної діагностики. З точки зору операторського інтерфейсу, це дозволяє візуалізувати процес у вигляді трендів реального часу, що дає змогу технологам аналізувати питому витрату полімеру на одну тонну сухої речовини осаду – ключовий показник економічної ефективності модернізації [18].

1.5 Обґрунтування вибору контролерів Siemens для автоматизації вузла приготування полімеру

Для реалізації алгоритмів ПІД-регулювання та забезпечення надійної роботи установки приготування полімеру на МКП «Хмельницькводоканал» обрано елементну базу компанії Siemens, зокрема сімейство програмованих логічних контролерів Simatic S7-1200. Даний вибір зумовлений рядом техніко-економічних чинників, що є критичними для експлуатації в умовах об'єктів водовідведення, де присутні підвищена вологість та агресивні випари [19].

Контролери серії S7-1200 мають модульну архітектуру, що дозволяє гнучко підбирати конфігурацію під конкретні завдання вузла. Для керування установкою обрано центральний процесор CPU 1214C, який інтегрує в одному корпусі блок живлення, входи/виходи та комунікаційний інтерфейс.

Ця модель має достатню кількість вбудованих швидкісних лічильників та аналогових входів для прямого підключення витратомірів води та датчиків рівня без додаткових модулів розширення, що здешевлює систему [20].

Важливою перевагою є вбудований інтерфейс PROFINET, який забезпечує швидку інтеграцію вузла в загальну мережу підприємства. Це

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг процесу та підключити сенсорну панель оператора для локального візуального контролю параметрів дозування.

Протокол PROFINET гарантує високу завадостійкість передачі даних, що є пріоритетом для промислових зон з великою кількістю силового обладнання [18, 19].

До основних технічних переваг обраної платформи також належать наступні особливості. Інтеграція в TIA Portal, а саме використання єдиного інженерного середовища дозволяє програмувати ПЛК, конфігурувати НМІ-панелі та налаштовувати частотні перетворювачі в одному проекті.

У середовищі TIA Portal реалізовані готові технологічні об'єкти для ПІД-регулювання з функцією автоналаштування, що значно спрощує запуск системи та дозволяє точно адаптувати її до інерційності камер змішування [19].

Промисловий стандарт якості, а саме обладнання Siemens має високий показник напрацювання на відмову та розширений температурний діапазон експлуатації, що мінімізує витрати на технічне обслуговування в довгостроковій перспективі.

Масштабованість, а саме модульна структура дозволяє в майбутньому розширити систему додати модулі керування додатковими лініями дозування без заміни центрального процесора [20].

Вибір Siemens також обґрунтовується наявністю розвиненої технічної підтримки та широким розповсюдженням цієї платформи в Україні. Для сервісних служб «Хмельницькводоканалу» це означає легкість пошуку комплектуючих та доступність кваліфікованого персоналу для регламентного обслуговування.

У порівнянні з бюджетними рішеннями інших виробників, Simatic S7-1200 забезпечує вищу кібербезпеку та стабільність програмного забезпечення, що є критичним для муніципальних об'єктів водопостачання та водовідведення [21, 22].

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6 Висновки до першого розділу

В результаті проведеного аналізу проблематики зневоднення осадів стічних вод на МКП «Хмельницькводоканал» та методів автоматизації процесу приготування флокулянту, можна зробити наступні висновки.

Обґрунтовано складність об'єкта автоматизації. На основі аналізу ієрархічної моделі розподілу вологи [2] встановлено, що активний мул є складною колоїдною системою. Основним технологічним бар'єром є наявність поверхневої адсорбційної та внутрішньоклітинної вологи, видалення якої неможливе без попереднього хімічного кондиціювання.

Встановлено, що для оперативного контролю здатності осаду до водовіддачі найбільш інформативним є показник часу капілярного всмоктування. Доведено, що автоматизація дозування повинна бути спрямована на досягнення точки мінімуму CST, що корелює з максимальним вмістом сухої речовини у зневодненому кеку.

Проаналізовано технологічну схему приготування розчину. Доведено переваги використання трикамерних установок безперервної дії, які забезпечують необхідний час гідратації полімерних ланцюгів. Встановлено, що критичними факторами є дотримання концентрації від 0,1% до 0,5% та запобігання механічному руйнуванню макромолекул у камерах дозрівання.

Виконано вибір апаратних засобів автоматизації. Обґрунтовано доцільність використання програмованого логічного контролера Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C. Обрана платформа дозволяє реалізувати прецизійне ПІД-регулювання подачі реагенту через частотно-регульовані приводи, забезпечує високу надійність в агресивних умовах очисних споруд та інтеграцію в загальну інформаційну мережу підприємства.

Встановлено, що перехід від релейних схем до безперервного ПІД-регулювання дозволить знизити питому витрату дорогого флокулянту від 15% до 20% при одночасному підвищенні стабільності показників вологості кеку.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структурної схеми система автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод

Структурна схема системи автоматичного керування вузлом приготування полімерного розчину визначає склад основних функціональних блоків, їх взаємозв'язок та ієрархію обробки сигналів. Основним завданням системи автоматичного керування є координація роботи механічного обладнання, а саме мішалок, шнека та клапанів у строгій відповідності до часових інтервалів та станів датчиків рівня.

Для забезпечення надійності та можливості масштабування на МКП «Хмельницькводоканал», система автоматичного керування побудована за трирівневим принципом:

- нижній рівень, а саме рівень польового обладнання, представлений сукупністю датчиків та виконавчих механізмів;
- середній рівень, а саме контролерний рівень, базується на програмованому логічному контролері Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C;
- верхній рівень, а саме рівень візуалізації, містить панель оператора НМІ диспетчера.

До рівня польового обладнання належать датчики рівня, клапани подачі води, двигун мішалки, шнековий живильник та допоміжні пристрої, а саме вібратор та повітродувка.

Контролер акумулює дискретні сигнали від датчиків і у відповідності до програмного алгоритму, керує силовими приводами через релейні модулі та частотні перетворювачі. Рівень візуалізації відображає поточні стани усіх вузлів, значення таймерів та системні тривоги.

Структурна схема системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод розроблена за ієрархічним принципом і зображена на рисунку 2.1.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

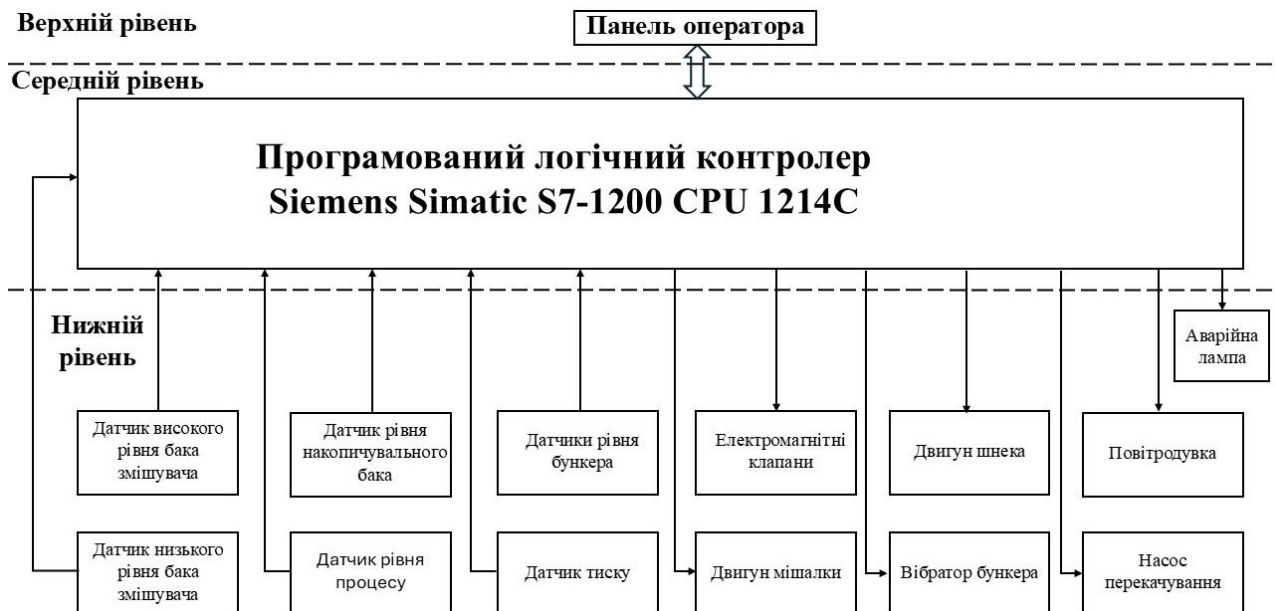


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод

Центральним елементом керування є ПЛК Siemens S7-1200 CPU 1214C, який виконує логічну обробку сигналів у реальному часі. На входи контролера надходять сигнали від датчиків рівня та тиску, які дозволяють системі визначати поточну фазу циклу наповнення, змішування або розвантаження.

Вихідна логіка контролера реалізується через керування шістьма силовими агрегатами. Особливістю структури є використання таймерів програмованого логічного контролера від 5 до 1500 секунд для точного витримування технологічного регламенту приготування полімеру.

Інформаційна взаємодія з оператором здійснюється через протокол PROFINET, що забезпечує передачу даних про аварії та стан бункера на верхній рівень керування.

Розроблена структурна схема, яка зображена на рисунку 2.1, базується на принципах ієрархічної побудови сучасних систем промислової автоматизації та відображає логіку взаємодії компонентів на трьох функціональних рівнях.

Нижній рівень, а саме рівень польового обладнання забезпечує безпосередню взаємодію з технологічним середовищем. Він розділений на два

основні потоки інформації:

Вхідні сигнали від датчиків, за допомогою яких система отримує дані про стан бака-змішувача за допомогою датчиків високого та низького рівнів, бака-накопичувача та бункера сухого полімеру. Особливе значення має датчик рівня процесу, який є індикатором готовності системи до початку циклу дозування. Датчик тиску виконує функцію системного захисту, забезпечуючи зворотний зв'язок щодо цілісності гідравлічної системи.

До виконавчих механізмів належать електромагнітні клапани А та В, які керують подачею води, а також силове обладнання, а саме двигун мішалки для гомогенізації розчину, двигун шнека для точного дозування, вібратор для запобігання злежуванню реагенту, повітродувка для транспортування та насос перекачування.

Середній контролерний рівень є ядром системи, реалізованим на базі програмованого логічного контролера Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C. Контролер виконує наступні ключові функції:

- логічної обробки;
- часової синхронізації;
- керування тривогами.

Контролер неперервно моніторить стан датчиків аварій, а саме тиску та рівні бункера. У разі виникнення позаштатної ситуації програмований логічний контролер переводить систему в безпечний стан та активує аварійну лампу.

При отриманні сигналу від датчика низького рівня бака-змішувача, програмований логічний контролер ініціює відкриття клапанів А та В.

Програмно реалізується послідовність витримок, критично важливих для технології:

- активація мішалки на 1500 с;
- шнека на 299 с;
- повітродувки на 350 с.

Окремо реалізовано алгоритм переривчастої роботи вібратора, а саме 5 с

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– робота та 20 с – пауза протягом загального циклу 180 с.

Верхній рівень візуалізації та інтерфейсу представлений панеллю оператора. Вона інтегрована в загальну структуру через інтерфейс Industrial Ethernet, а саме протоколу PROFINET. Це дозволяє оператору здійснювати:

- моніторинг виконання технологічних етапів у реальному часі;
- дистанційне скидання аварійних станів після усунення несправностей;
- контроль заповнення бункера та готовності розчину в накопичувальному баку.

Взаємодія всіх рівнів структурної схеми забезпечує повну автоматизацію циклу приготування розчину: від початкового набору води до перекачування готового реагенту, який мінімізує вплив людського фактора на стабільність, забезпечуючи високу якість зневоднення осадів.

2.2 Вибір обладнання для системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод

Вибір компонентної бази є критичним етапом проектування, тому що обладнання повинно забезпечувати безперебійну роботу в умовах підвищеної вологості та потенційної агресивності середовища очисних споруд.

Основним критерієм вибору програмованого логічного контролера є кількість інформаційних каналів входів/виходів, які необхідні для роботи структурної схеми, що описана в пункті 2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік сигналів системи керування

Тип сигналу	Найменування сигналу / пристрою	Кіл.
Дискретні входи	Датчики рівня баків, бункеру та процесу, датчик тиску	7
Дискретні виходи	Клапани, двигуни мішалки, шнеку, насосу та вібратора, лампа	7
Аналогові сигнали	Перспективне розширення під датчики витрати та частотно-регульований привід двигунів	2

Для реалізації даної задачі обрано програмований логічний контролер Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C номер за артикулом 6ES7214-1AG40-0XB0, який зображено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Програмований логічний контролер Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C номер за артикулом 6ES7214-1AG40-0XB0

Технічні переваги обраного CPU:

- інтегрована периферія, а саме 14 дискретних входів та 10 дискретних виходів, які повністю покриває поточні потреби системи 14 сигналів і залишає резерв для розширення;
- пам'ять 100 Кбайт, якої достатньо для реалізації складних таймерів та обробки аварійних повідомлень;
- вбудований інтерфейс PROFINET для зв'язку з HMI-панеллю та інтеграції в мережу підприємства.

Хоча програмований логічний контролер Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C має вбудовані канали, для забезпечення гальванічної розв'язки та підвищення надійності силових кіл, а саме керування двигунами, доцільно використовувати релейні модулі або проміжні реле.

Для візуалізації обрано панель оператора Simatic HMI KTP700 Basic номер за артикулом 6AV2123-2GB03-0AX0. Вона має 7-дюймовий кольоровий дисплей, який дозволяє детально відобразити мнемосхему трикамерної установки, стан кожного таймера та текстові описи тривоги. Панель оператора

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Simatic HMI KTP700 Basic номер за артикулом 6AV2123-2GB03-0AX0 зображена на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Панель оператора Simatic HMI KTP700 Basic номер за артикулом 6AV2123-2GB03-0AX0

На основі структурна схема системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод, яка зображена на рисунку 2.1, а також часових уставок, вибрані наступні типи пристроїв.

Ультразвукові безконтактні датчики рівня серії SITRANS LU240, який зображено на рисунку 2.4. Вони не піддаються корозії та налипанню полімеру, що критично для точної роботи логіки ПЛК.



Рисунок 2.4 – Ультразвуковий безконтактний датчик рівня серії SITRANS LU240 номер за артикулом 7ML5110-1GF07-4AF3

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для двигуна шнека обрано частотний перетворювач Sinamics V20 номер за артикулом 6SL3210-5BE24-0CV0, який зображено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Частотний перетворювач Sinamics V20 номер за артикулом 6SL3210-5BE24-0CV0

Частотний перетворювач Sinamics V20 дозволяє реалізувати плавний пуск та точне регулювання швидкості подачі, що важливо для витримування уставки в 299 секунд.

В якості запірної арматури виберемо електромагнітні клапани з котушками 24V DC для прямого підключення до DQ-виходів. Потрібно врахувати, що клапани працюють у вологому середовищі вузла приготування реагенту. Електромагнітні клапани повинні мати корпус, стійкий до корозії з латуні або нержавіючої сталі, а також котушки з класом ізоляції не нижче IP65.

Для встановлення на лінії подачі води клапани А та В вибрано електромагнітний клапан Danfoss EV220B 15B, який зображено на рисунку 2.6. Тип електромагнітного клапана нормально закритий, що забезпечує безпеку системи, а саме при вимкненні живлення або аварії подача води автоматично припиняється. Напруга котушки становить 24 В, а потужність споживання становить близько 18-20 Вт. Матеріалом корпусу є латунь DZR, яка стійка до вимивання цинку.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.6 – Електромагнітний клапан Danfoss EV220B 15B

Матеріал мембрани є матеріал типу EPDM, тому що електромагнітний клапан Danfoss EV220B 15B буде працювати з водою та розчинами полімерів, тому цей матеріал є оптимальним за довговічністю та еластичністю.

Робочий тиск електромагнітного клапана Danfoss EV220B 15B складає від 0,3 бар до 16 бар. Це повністю перекриває робочий діапазон тисків у мережі МКП «Хмельницькводоканал».

Електромагнітний клапан Danfoss EV220B 15B можна безпосередньо до транзисторних виходів програмованого логічного контролера через компактні проміжні реле серії SIRIUS 3RQ3, яке зображено на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Проміжне реле серії SIRIUS 3RQ3

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Розробка електричної схеми системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод

Проектування електричної принципової схеми системи керування виконано у спеціалізованому середовищі автоматизованого проектування САПР Eplan Electric P8. Вибір даного інструменту обумовлений можливістю створення інтелектуальних схем з автоматичною генерацією специфікацій, таблиць з'єднань та планів клемників, що відповідають міжнародним стандартам ІЕС.

Електрична схема структурована за функціональними групами, що спрощує подальший монтаж та діагностику системи на об'єкті. Кола силового живлення 400АС містять ввідний автоматичний вимикач, шини розподілу енергії та захисний автомат для електродвигунів мішалок, повітрорудки та насоса. Для шнекового дозатора передбачено підключення через частотний перетворювач Sinamics V20, що відображається на схемі як окремий функціональний вузол із захистом по входу.

Кола керування та живлення ПЛК 24V DC призначені для живлення контролера Siemens S7-1200, датчиків та котушок клапанів передбачено імпульсний блок живлення. Це забезпечує гальванічну розв'язку від силової мережі та захист електроніки від завад.

У проекті Eplan Electric P8 розроблено окремі аркуші для модулів вводу-виводу CPU 1214C. На рисунку 2.8 зображено силову частину електричної схеми системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод.

Силова частина системи автоматичного керування (САК) призначена для розподілу електричної енергії, захисту кіл та безпосереднього живлення виконавчих механізмів: електродвигуна мішалки, шнекового дозатора та електромагнітного клапана.

Живлення системи здійснюється від трифазної мережі змінного струму з

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

номінальною напругою 400В/50Гц система заземлення TN-S.

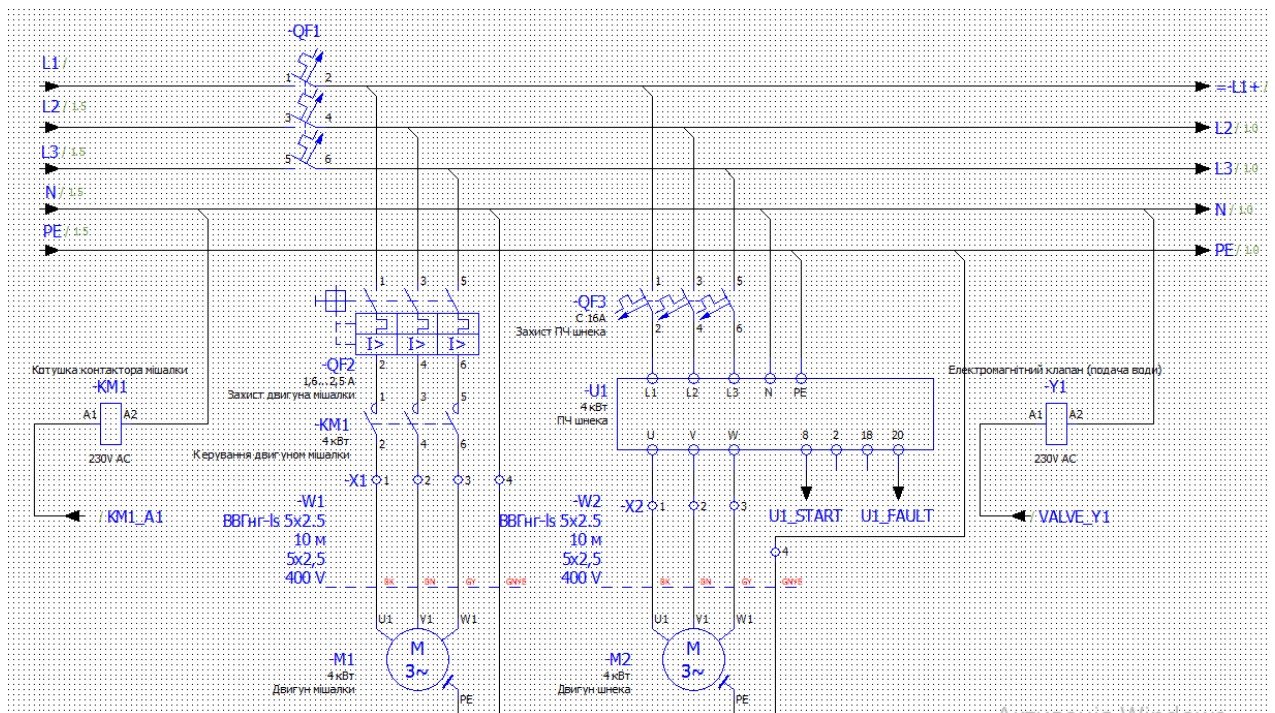


Рисунок 2.8 – Силова частина електричної схеми системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод

На вході встановлено головний автоматичний вимикач QF1, який забезпечує захист всієї установки від струмів короткого замикання та перевантаження. Від ввідного автомата живлення подається на спільні шини, від яких заживлені окремі споживачі через власні пристрої захисту.

Силове коло мішалки реалізоване за схемою прямого пуску. Використовується автоматичний вимикач захисту двигуна -QF2, який об'єднує в собі функції електромагнітного та теплового розчіплювача.

Керування двигуном здійснюється за допомогою магнітного контактора - KM1. Котушка контактора розрахована на напругу 230В AC і отримує сигнал від ПЛК. При замиканні силових контактів контактора напруга подається на клему двигуна потужністю 4 кВт.

Для забезпечення точного дозування полімеру та плавного регулювання

швидкості, шнек підключений через перетворювач частоти ПЧ Siemens SINAMICS V20.

Перетворювач частоти ПЧ Siemens SINAMICS V20 захищений окремим автоматичним вимикачем. Частотний перетворювач перетворює вхідну напругу 400В у напругу зі змінною частотою, що дозволяє динамічно змінювати продуктивність шнека. Силові виходи ПЧ U, V та W з'єднані безпосередньо з обмотками двигуна.

Для подачі води у вузол приготування використовується соленоїдний клапан Danfoss EV220В 15В. Клапан підключений до однофазної мережі 230В АС. Силове підключення виконується через релейний вихід ПЛК. При подачі напруги на котушку клапана створюється електромагнітне поле, що відкриває прохід для води.

Для живлення самого ПЛК Siemens S7-1200, датчиків рівня та проміжних реле у силовій частині передбачено імпульсний блок живлення АС/DC, який перетворює 230В АС у стабілізовані 24В DC. Це забезпечує гальванічну розв'язку та стабільну роботу автоматики.

Всі металеві корпуси двигунів, шафа керування та рама установки підключені до шини захисного заземлення РЕ. Це гарантує безпеку обслуговуючого персоналу у разі пошкодження ізоляції струмоведучих частин.

На рисунку 2.9 зображено частину керування електричної схеми системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод.

Частина керування системою автоматизації розроблена на базі програмованого логічного контролера (ПЛК) Siemens SIMATIC S7-1200 модель CPU 1214C АС/DC/Rly. Вибір даного контролера обумовлений його модульністю, наявністю вбудованих релейних виходів та достатньою кількістю дискретних входів для реалізації алгоритму приготування розчину.

Для взаємодії з оператором та отримання зворотного зв'язку від обладнання використовуються дискретні входи модуля ПЛК, які живляться

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

внутрішньою напругою 24В DC:

Вхід DI a.0 -S1 «ПУСК» підключений до нормально-відкритого NO контакту кнопки пуску. Подає сигнал на початок циклу приготування розчину.

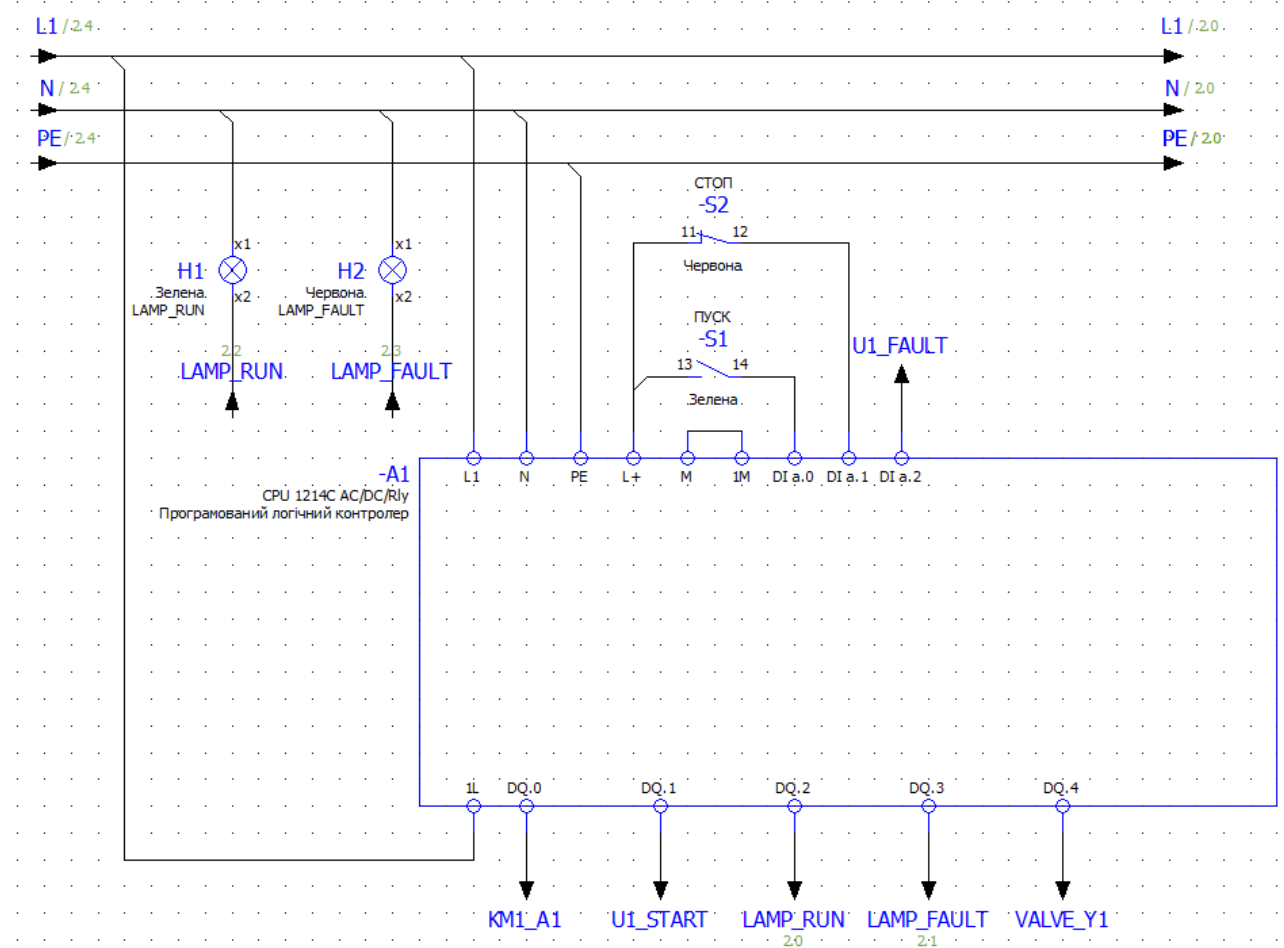


Рисунок 2.9 – Частина керування електричної схеми системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод

Вхід DI a.1 -S2 «СТОП» підключений до нормально-закритого NC контакту кнопки аварійної зупинки. Використання NC-контакту забезпечує принцип «безпечної відмови»: при обриві лінії живлення ПЛК сприйме це як команду на зупинку.

Вхід DI a.2 Аварія ПЧ -U1 підключений до релейного виходу перетворювача частоти SINAMICS V20 клемма 20. Цей вхід дозволяє контролеру

миттєво зупинити технологічний процес у разі блокування шнека або внутрішньої помилки частотника.

Вихідні каскади ПЛК представлені релейними контактами, які комутують напругу 230В АС фаза L1 подається на клему живлення виходів 1L. Це дозволяє безпосередньо керувати котушками контакторів та світлосигнальною арматурою.

Вихід DQ.0 мішалка керує котушкою контактора -KM1. При активізації виходу замикаються силові контакти на Аркуші 1, що призводить до запуску двигуна мішалки потужністю 4 кВт.

Вихід DQ.1 старт Шнека передає дискретну команду на вхід керування клема 8 перетворювача частоти -U1.

Вихід DQ.4 керує електромагнітним клапаном -Y1. Вихід DQ.4 керує соленоїдом Danfoss EV220B, забезпечуючи автоматичне дозування води в бак-змішувач.

Для візуального контролю стану системи на панелі керування передбачено індикатори. Вихід DQ.2 лампа -H1 «РОБОТА» зеленого кольору індикатор, який підтверджує штатну роботу системи та активність виконавчих механізмів.

Вихід DQ.3 приєднаний до лампи -H2 «АВАРІЯ» червоного індикатору, який активується при спрацюванні захисних автоматів або надходженні сигналу про несправність частотного перетворювача.

Для забезпечення читабельності схеми та логічного зв'язку між частиною керування та силовою частиною використано точки розриву з автоматичними перехресними посиланнями Cross-references. Точка розриву KM1_A1 біля виходу DQ.0 має посилання на координати котушки контактора на силовій схемі, що дозволяє легко відстежити проходження сигналу від виходу ПЛК до кінцевого споживача.

На рисунку 2.10 зображена технологічна схема приготування полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод. Процес приготування полімерного

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

розчину є циклічним та повністю автоматизованим. Логіка роботи побудована на взаємодії датчиків рівня, виконавчих механізмів та часових інтервалів таймерів.

Процес активується, коли спрацьовує датчик низького рівня в баку-змішувачі, і зображений на рисунку 2.10.

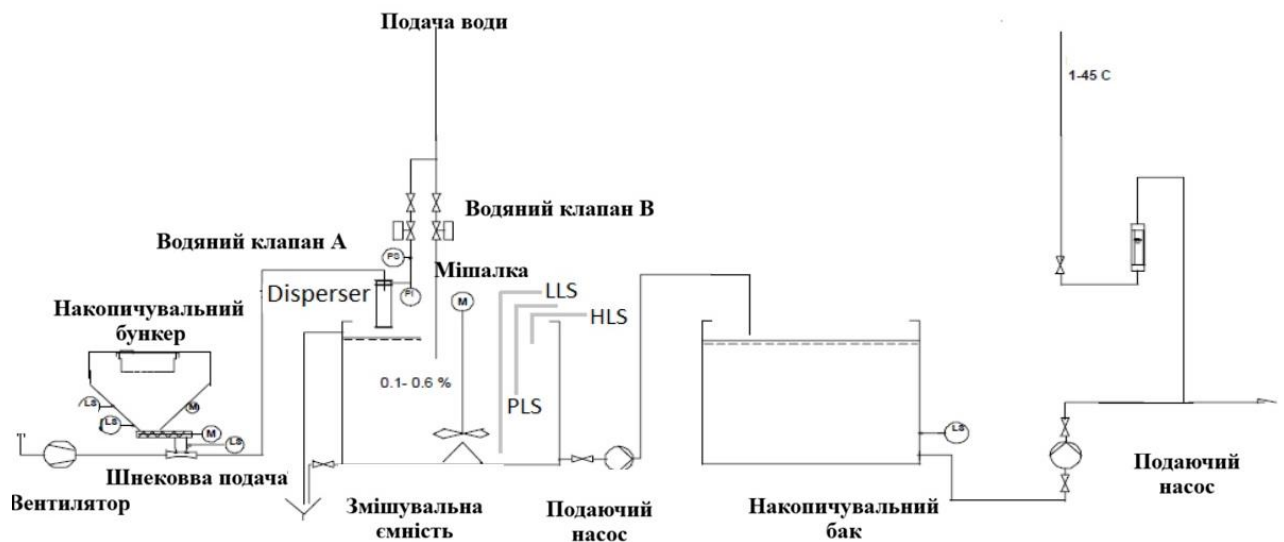


Рисунок 2.10 – Схема технологічного процесу приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод

Автоматично відкриваються водяні клапани А та В, починаючи заповнення бака водою. При досягненні датчика високого рівня в баку-змішувачі, клапан А закривається, а наповнення продовжується через клапан В.

Етап дозування та змішування розпочинається, коли спрацьовує технологічний датчик рівня, система переходить до фази приготування. Клапан В закривається, припиняючи подачу води.

Мішалка вмикається і працює протягом 1500 секунд для створення гомогенного розчину. Вібратор бункера вмикається для запобігання злежуванню порошку. Він працює в імпульсному режимі: 5 секунд робота / 20 секунд пауза. Загальна тривалість циклу вібрації становить 180 секунд.

Шнековий живильник активується на 299 секунд, дозуючи точну

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

кількість сухого полімеру в камеру змішування. Повітродувка вмикається на 350 секунд для барботажу розчину повітрям.

Коли спрацьовує датчик рівня в накопичувальному баку вмикається перекачувальний насос-дозатор, який подає готовий розчин на лінію зневоднення.

Технологічний датчик рівня скидається. Якщо бак-змішувач досягає низького рівня, насос-дозатор вимикається для захисту від сухого ходу, і цикл приготування повторюється знову.

При спрацюванні реле тиску загоряється лампа аварії, і вся установка вимикається. Скидання аварії можливе лише через кнопку «Reset». При аварії бункера сухого полімеру засвічується аварійна лампа попередження про переповнення.

При низькому рівні засвічується аварійна лампа, а вібратор блокується для запобігання роботі вхолосту. При спрацюванні датчика аварії шнека вмикається аварійна лампа, а двигун шнека миттєво зупиняється.

Даний алгоритм забезпечує точне дотримання концентрації розчину завдяки суворому контролю часу роботи шнека та об'єму води. Використання НС-логіки для кнопок «Стоп» та датчиків аварії гарантує безпеку обладнання у разі обриву кабелів керування.

Процес приготування полімерного розчину в даній установці є циклічним автоматизованим процесом, що базується на часових інтервалах та контролі рівнів у резервуарах. Система забезпечує точне дозування сухого реагенту та води для отримання стабільної концентрації.

Цикл приготування ініціюється станом датчиків рівня в баку-змішувачі. Старт циклу розпочинається, коли спрацьовує датчик низького рівня в баку-змішувачі, система відкриває водяні клапани А та В.

При досягненні датчика високого рівня бака-змішувача водяний клапан А закривається, а наповнення продовжується через клапан В до моменту спрацювання технологічного датчика рівня.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як тільки спрацьовує технологічний датчик рівня, клапан В закривається, і система переходить до фази дозування та перемішування. Після заповнення бака водою до робочої позначки, ПЛК активує наступні виконавчі механізми за часовим графіком.

Мішалка вмикається одночасно з активацією технологічного рівня та працює протягом 1500 секунд 25 хвилин для забезпечення повного розчинення полімеру.

Шнековий дозатор вмикається на 299 секунд, подаючи чітко відміряну кількість сухого порошку в зону змочування. Вібратор бункера використовується для запобігання утворенню «склепінь» порошку і працює в імпульсному режимі: 5 секунд роботи та 20 секунд паузи. Загальний час роботи вібратора в циклі становить 180 секунд.

Повітродувка запускається на 350 секунд для інтенсифікації процесу визрівання розчину шляхом барботажу перемішування повітрям. Готовий розчин перетікає в камеру зберігання. Робота насоса відбувається, коли датчик рівня в камері зберігання підтверджує наявність розчину, активується насос-дозатор, який подає реагент на установку зневоднення осадів.

Якщо в процесі відбору спрацьовує датчик низького рівня бака-змішувача, насос-дозатор автоматично вимикається, щоб запобігти поломці обладнання. Після спорожнення бака до критичної позначки цикл автоматично повторюється з першого етапу.

Система постійно моніторить критичні параметри для безпеки обладнання. При спрацюванні реле тиску вмикається аварійна лампа, а вся установка повністю знеструмлюється.

При високому рівні полімеру в бункері – спрацьовує світлова сигналізація. При критично низькому рівні полімеру – спрацьовує лампа аварії та автоматичне вимкнення вібратора для захисту бункера.

Якщо фіксується перевантаження або збій шнека, двигун негайно зупиняється, а оператор отримує сигнал про несправність.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення високої якості полімерного розчину та стабільної роботи механізмів, у програмі ПЛК встановлено специфічні часові налаштування таймери.

Робота мішалки протягом 1500 секунд, що дорівнює 25 хвилин, обумовлена складним процесом розчинення високомолекулярних флокулянтів полімерів. Сухий полімер складається з довгих, щільно згорнутих молекулярних ланцюгів. При потраплянні у воду вони починають гідратуватися.

Для того, щоб ці ланцюги повністю розгорнулися і стали активними здатними притягувати частинки осаду, потрібен певний час, а саме процес «дозрівання» або визрівання.

Короткочасне перемішування призведе до утворення «риб'ячих очей», а саме грудок, де зовнішній шар полімеру вже розчинився, а внутрішній залишився сухим. 1500 секунд відповідає розрахунковому часу, який гарантує повну гомогенізацію розчину без руйнування механічної деструкції самих молекулярних ланцюгів надто інтенсивним тертям. Недоотримання часу визрівання призводить до перевитрати дорогого реагенту та низької якості зневоднення осаду на фільтр-пресі.

Вібратор бункера працює в циклічному режимі 5 секунд робота та 20 секунд пауза протягом 180 секунд. Такий режим є технологічно необхідним з наступних причин. Запобігання ущільненню порошку шляхом неперервної вібрація має зворотний ефект для дрібнодисперсних сухих речовин, а саме замість сприяння плинності, вона призводить до «трамбування» або механічного ущільнення частинок полімеру. Це може призвести до утворення «склепінь» над шнеком, що повністю припинить подачу реагенту.

Метод обрушення «містиків» відповідає короткому імпульсу вібрації 5 с, який створює різкий струс, що руйнує статичні зв'язки між частинками, змушуючи їх осідати під дією сили тяжіння до шнекового дозатора. Пауза 20 с дозволяє порошку стабілізуватися та рівномірно заповнити порожнини шнека.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Імпульсний режим значно зменшує втому металу конуса бункера та продовжує ресурс самого електровібратора, запобігаючи його перегріву. Час роботи шнекового дозатора розрахований виходячи з продуктивності шнека кг/год та об'єму води, щоб забезпечити точну концентрацію 0,2%.

Барботаж повітрям у камері визрівання підсилює дію мішалки, допомагаючи легким фракціям полімеру не спливати на поверхню, а рівномірно розподілятися в об'ємі. Додаткові 50 секунд після зупинки шнека необхідні для первинного розподілу останньої порції поданого порошку.

Встановлені часові інтервали в програмі ПЛК не є випадковими та базуються на фізико-хімічних властивостях полімерів і механічних характеристиках дозувального обладнання.

Полімерні флокулянти, які використовуються для зневоднення осадів, мають надвисоку молекулярну масу. Процес їх приготування – це не просто розчинення, а довгий процес гідратації.

У сухому стані молекули полімеру згорнуті в щільні клубки. При контакті з водою вони починають розгортатися. Якщо почати використовувати розчин занадто рано, молекули не встигнуть "відкритися", і ефект флокуляції склеювання часток осаду буде мінімальним.

Експериментально встановлено, що для більшості марок полімерів оптимальний час дозрівання становить 20–40 хвилин. Таймер на 1500 секунд 25 хвилин забезпечує повну готовність розчину, запобігаючи перевитраті дорогого реагенту.

Постійна робота мішалки протягом цього часу також важлива. Однак, якщо заважати занадто швидко або занадто довго, довгі ланцюги молекул можуть зруйнуватися, а саме розірватися механічно, що називається деструкцією полімеру.

Вібратор бункера є критичним для стабільності дозування. Проте безперервна вібрація шкідлива. Багато порошоків під дією постійної вібрації схильні не висипатися, а навпаки втрамбовуватися, а саме ефект сегрегації та

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ущільнення. Це призводить до утворення порожнеч над шнеком.

Режим 5 секунд роботи та 20 секунд паузи дозволяє створювати короткі "струси", які обрушують склепіння порошку, що утворилися, але не дають частинкам спресуватися.

Такий режим із загальним часом 180 с зменшує нагрів обмоток електровібратора та знижує вібраційне навантаження на зварні шви металевго бункера.

Проектована система автоматичного керування приготуванням полімерного розчину містить електрообладнання, що працює під напругою 400 В змінного струму, а також рухомі механічні частини. Забезпечення безпеки персоналу досягається шляхом реалізації комплексу технічних та організаційних заходів.

Електробезпека системи базується на вимогах ПУЕ Правила улаштування електроустановок та охоплює наступні рішення. У проєкті реалізовано п'ятипровідну систему живлення, де функціональний нуль N та захисний провідник PE розділені по всій довжині. Всі металеві неструмоведучі частини, а саме корпус шафи керування, станини електродвигунів мішалки та шнека, а також корпус ПЛК під'єднані до загальної шини PE. Це гарантує миттєве спрацювання захисту при пробі ізоляції на корпус.

Кожне силове коло захищене автоматичним вимикачем. Для двигунів використано автомати захисту з характеристикою «D», що запобігає хибним спрацюванням під час пускових струмів, але забезпечує надійне відключення при перегріві обмоток.

Використання імпульсного блока живлення 400В AC/24В DC для живлення контролера та датчиків забезпечує гальванічну ізоляцію низьковольтних кіл керування від високовольтної силової мережі, що мінімізує ризик ураження оператора при взаємодії з кнопками керування.

Для оперативного втручання в роботу системи у разі виникнення небезпечних ситуацій передбачена кнопка «Emergency Stop», яка розташована

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на лицьовій панелі шафи керування. Вона має грибоподібну форму, червоний колір та фіксацію у натиснутому стані.

Логіка підключення побудована за принципом нормально-закритого контакту: при натисканні або обриві дроту ПЛК миттєво знімає напругу з усіх виходів DQ, зупиняючи мішалку та подачу води.

Червона лампа активується автоматично при спрацюванні будь-якого захисного автомата або отриманні сигналу про помилку від частотного перетворювача -U1. Це дозволяє персоналу дистанційно ідентифікувати зупинку техпроцесу.

Враховуючи, що установка працює в умовах підвищеної вологості підготовка розчину та можливої наявності пилу сухий полімер, обрано наступні класи захисту оболонки згідно з ГОСТ 14254.

Шафа керування відповідає рівню захисту IP54, що означає захист від пилу та бризок води з будь-якого напрямку. Електродвигуни та датчики рівня відповідають рівню захисту IP65: Повний захист від пилу та захист від струменів води під тиском, що дозволяє проводити вологе прибирання установки.

Полімерний порошок у сухому стані є дуже слизьким при потраплянні на підлогу з вологою. Система дозування, а саме шнек та пристрій змочування розроблена як герметичний вузол, що мінімізує просипання порошку.

Нагрівальний елемент запобігає конденсації вологи на виході шнека, що усуває ризик утворення слизьких грудок безпосередньо на обладнанні.

До обслуговування установки допускаються особи, що пройшли інструктаж з техніки безпеки та мають групу з електробезпеки не нижче III. Будь-які ремонтні роботи повинні проводитися лише при повністю вимкненому ввідному автоматі -QF1 із вивішуванням попереджувальної таблички «Не вмикати! Працюють люди».

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі було проведено повний комплекс проектно-конструкторських робіт із розробки системи автоматичного керування процесом приготування полімерного розчину. За результатами виконання розділу можна зробити наступні висновки.

Розроблено трирівневу структурну схему керування, яка базується на сучасному промисловому контролері Siemens SIMATIC S7-1200. Такий підхід забезпечує високу надійність, масштабованість системи та можливість інтеграції в загальну мережу диспетчеризації МКП «Хмельницькводоканал».

У середовищі EPLAN Electric P8 спроектовано принципову електричну схему, яка розділена на силову частину та кола керування. Використання перетворювача частоти Sinamics V20 для шнекового дозатора дозволило забезпечити плавність подачі реагенту та захист двигуна від заклинювання. Кола керування реалізовані на безпечній напрузі 24 В DC із гальванічною розв'язкою від силової мережі.

Описано циклічний процес приготування розчину, що базується на комбінованому контролі: за рівнем рідини в баках та за часовими інтервалами. Встановлено, що оптимальний час визрівання полімеру становить 1500 секунд, що критично важливо для повного розгортання молекулярних ланцюжків флокулянта та ефективного зневоднення осаду.

Обґрунтовано впровадження імпульсного режиму роботи вібратора бункера, а саме 5 с робота та 20 с пауза, що запобігає механічному ущільненню сухого полімеру та гарантує безперебійну роботу шнекового живильника.

Передбачено комплексну систему захисту, яка включає аварійну зупинку механізмів при спрацюванні датчиків низького рівня, а саме захист від «сухого ходу», світлову сигналізацію несправностей та апаратне блокування роботи системи за допомогою кнопки Emergency Stop. Вибране обладнання має відповідний ступінь захисту IP54/IP65, що дозволяє експлуатувати його в

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умовах підвищеної вологості очисних споруд.

Сформовано повну специфікацію елементів, яка включає сучасні компоненти провідних виробників Siemens, Danfoss та Schneider Electric, що забезпечує високу ремонтпридатність системи та тривалий термін експлуатації.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРИГОТУВАННЯМ ПОЛІМЕРНОГО РОЗЧИНУ ДЛЯ ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД

3.1 Алгоритм роботи системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод

Алгоритм роботи системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод реалізований як циклічна послідовність логічних операцій, що забезпечують перехід системи з одного стану в інший залежно від сигналів зворотного зв'язку від датчиків та внутрішніх системних таймерів.

Програма ПЛК Siemens S7-1200 починає роботу з опитування стану датчиків рівня в накопичувальному баку. Якщо рівень готового розчину достатній, система перебуває в режимі очікування. Цикл приготування ініціюється при спрацюванні датчика низького рівня в баку-змішувачі, що вказує на необхідність поповнення запасу реагенту.

Після отримання сигналу про низький рівень в баку-змішувачі, контролер активує дискретні виходи для відкриття електромагнітних клапанів. Вода починає надходити в камеру змішування через лінію підготовки.

Як тільки рівень досягає датчика високого рівня, контролер закриває клапан А, залишаючи відкритим лише клапан В для точного доведення об'єму до технологічної позначки.

При досягненні водою рівня, за який відповідає датчик рівня, клапан В закривається. Цей стан є тригером для запуску основних технологічних операцій.

Одночасно запускаються мішалка та програмуються часові реле таймери для дозатора та повітрорудки. Якщо протягом цього кроку відбудеться спрацювання датчика аварії при низькому тиску води, алгоритм негайно переходить до підпрограми зупинки. Блок схема алгоритму роботи системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

осадів стічних вод зображена на рисунку 3.1.

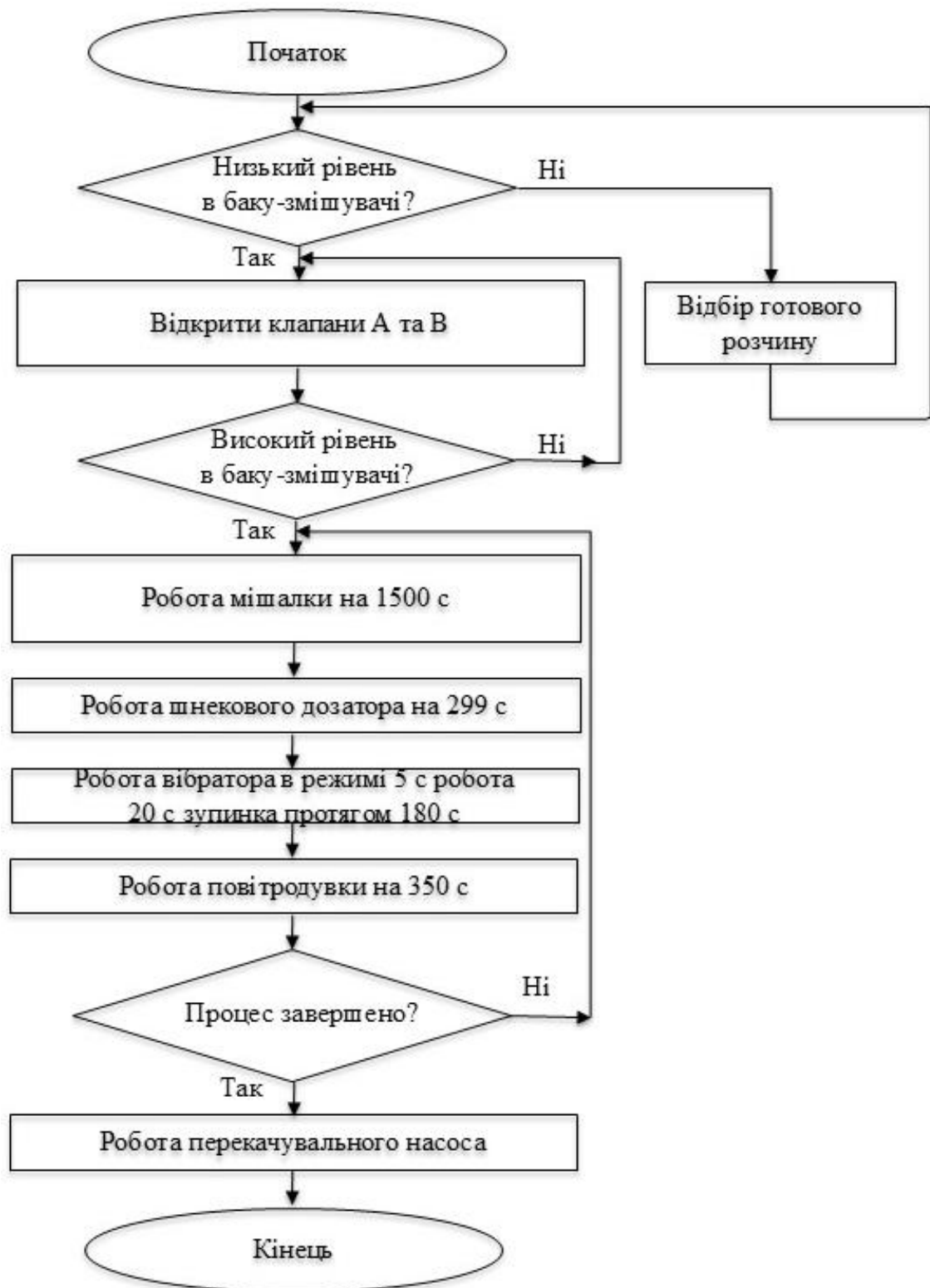


Рисунок 3.1 – Блок схема алгоритму роботи системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод

Блок схема алгоритму роботи системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод побудована за ієрархічним принципом і відображає послідовність технологічних операцій від моменту ініціалізації системи до видачі готового продукту.

Блок «Початок» символізує запуск циклу опитування програми ПЛК. Умовний блок «Низький рівень в баку-змішувачі?» приймає рішення, а саме програма аналізує сигнал від датчика LSL. Якщо рівень низький, алгоритм переходить до наступного етапу. Якщо рівень достатній, система залишається в режимі очікування.

Блок «Відкрити клапани А та В» формує команду на подачу води. На схемі це початок гідравлічної підготовки. Умовний блок «Високий рівень в баку-змішувачі?» виконує проміжний контроль. При отриманні сигналу «Так», алгоритм передбачає закриття клапана А для переходу на режим точного дозування, яке забезпечує плавне наповнення до технологічної мітки.

Блок паралельного виконання технологічних операцій – це центральна частина схеми, де після спрацювання датчика робочого рівня активуються виконавчі механізми з відповідними часовими затримками таймерами.

Гілка «Робота мішалки на 1500 с» забезпечує безперервну гомогенізацію розчину. Гілка «Робота шнекового дозатора на 299 с» відповідає за подачу сухої фази полімеру.

Гілка «Вібратор 5с ON / 20с OFF» визначає спеціальний циклічний під-алгоритм для запобігання злежуванню порошку. Гілка «Робота повітродувки на 350 с» активує процес барботажу.

Алгоритм не дозволяє переходити до наступного етапу, доки не спливе основний час визрівання 1500 с. Це гарантує якість розчину. Після виконання всіх операцій схема має лінію повернення до блоку перевірки рівня, що робить процес замкнутим та циклічним. Це графічне представлення логіки програми ПЛК, яка керує процесом приготування розчину.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розробка програми роботи системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод

Написання програми для TIA Portal V17 для програми роботи системи автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод найкраще реалізувати мовою LAD Ladder Diagram, оскільки вона є стандартом для автоматизації подібних процесів. Програма зазвичай складається з кількох логічних сегментів Networks.

Створення проєкту в TIA Portal V17 – це базовий, але надзвичайно важливий етап, оскільки саме тут закладається апаратна конфігурація, яка має збігатися з електричною схемою.

Процес розробки прикладного програмного забезпечення розпочинається з конфігурування апаратної частини Hardware Configuration в середовищі Totally Integrated Automation Portal TIA Portal V17.

Після запуску середовища обирається пункт Create new project. У полі Project name вказується назва Polymer_Preparation_S7_1200. Визначається шлях збереження даних на локальному диску.

У розділі Devices & Networks виконується додавання нового пристрою Add new device. Для даної системи обрано контролер SIMATIC S7-1200 модель CPU: CPU 1214C DC/DC/DC артикул: 6ES7 214-1AG40-0XB0 версія прошивки Firmware 4.5, який зображено на рисунку 3.2.

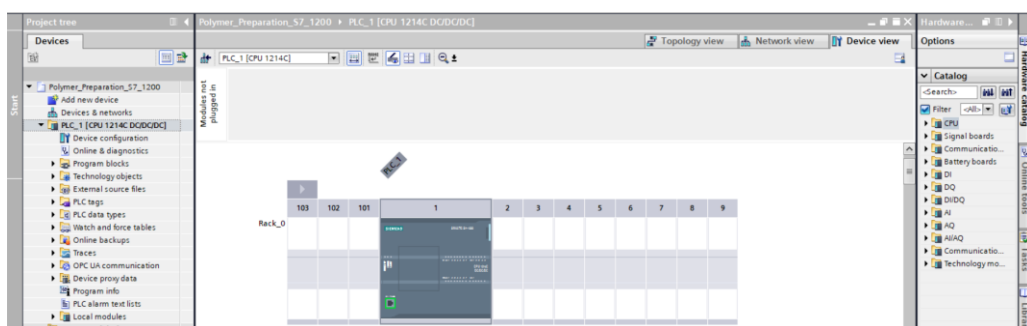


Рисунок 3.2 – Вибір контролера SIMATIC S7-1200 модель CPU: CPU 1214C DC/DC/DC артикул: 6ES7 214-1AG40-0XB0

Вибір саме цієї моделі обумовлений наявністю 14 дискретних входів та 10 дискретних виходів, що повністю покриває потреби нашої схеми керування без встановлення додаткових модулів розширення.

У властивостях Properties процесора налаштовується інтерфейс PROFINET. IP-адреса 192.168.0.1, що є стандартом для локальних систем. Маска підмережі 255.255.255.0 у відповідності до рисунка 3.3.

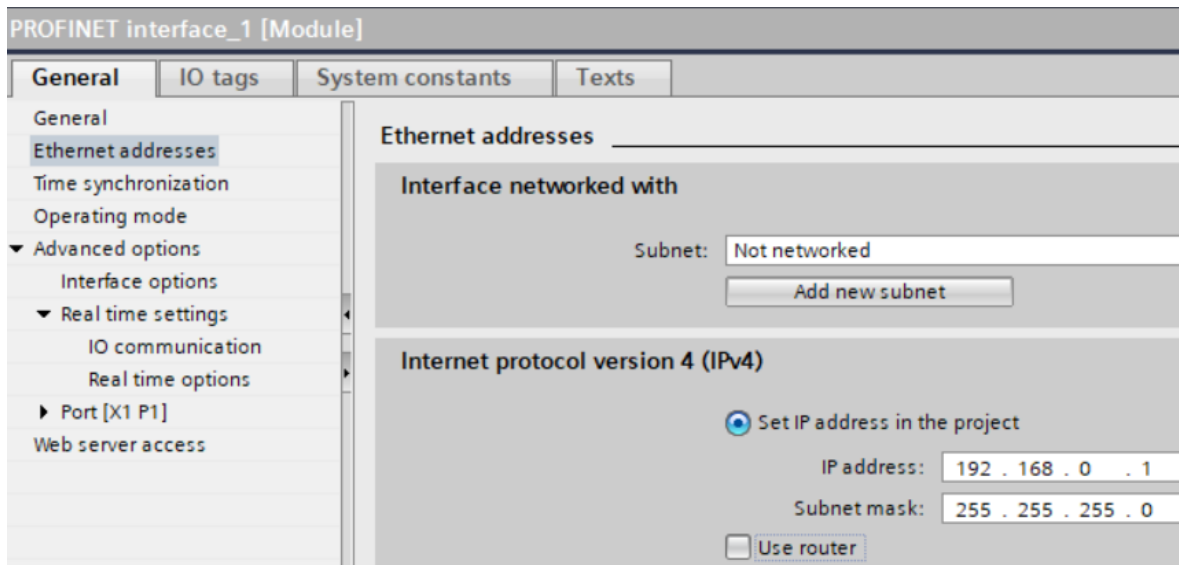


Рисунок 3.3 – Налаштування інтерфейсу PROFINET

Це дозволить у майбутньому підключити панель оператора НМІ та забезпечити віддалений доступ до контролера через Ethernet-порт. Основним інструментом розробки обрано мову LAD Ladder Diagram. Вибір мови релейно-контактних схем обумовлений наступними чинниками.

Структура програми повторює логіку електричних схем, що полегшує діагностику та обслуговування системи електриками підприємства. Мова LAD ідеально підходить для реалізації логічних операцій з датчиками рівня та керування котушками контакторів і клапанів. Мова відповідає міжнародному стандарту ІЕС 61131-3.

Важливим етапом розробки є створення таблиці тегів ПЛК (PLC Tags), яка зображена на рисунку 3.4. Вона забезпечує апаратну прив'язку фізичних

клем модулів введення-виведення контролера до логічних змінних у програмі, а також розподіляє внутрішню пам'ять пристрою.

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Write...	Visibl...	Comment
1	DI_Start	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Кнопка «Пуск» (-S1)
2	DI_Stop	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Кнопка «Стоп/Аварія» (-S2)
3	DI_LSL_Mixer	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Датчик низького рівня бака-змішувача
4	DI_LSH_Mixer	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Датчик високого рівня бака-змішувача
5	DI_Process_L	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Технологічний рівень приготування
6	DQ_Mixer_Motor	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Контактор мішалки (-M1)
7	DQ_Screw_Motor	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Старт шнекового дозатора
8	DQ_Valve_A	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Електромагнітний клапан А
9	DQ_Valve_B	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Електромагнітний клапан В
10	DQ_Vibrator	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Вібратор бункера
11	DQ_Blower	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Повітродувка
12	DQ_Transfer_Pump	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Насос-дозатор
13	Filling_Active	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Проміжне реле фіксації процесу напо...
14	HMI_Start	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Кнопка "СТАРТ" на екрані НМІ
15	HMI_Stop	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Кнопка "СТОП" на екрані НМІ

Рисунок 3.4 – Таблиця тегів ПЛК PLC Tags

У структурі таблиці чітко розмежовано три типи адресного простору:

- фізичні входи від %I0.0 до %I0.4, які призначені для зчитування сигналів від апаратури керування за місцем, а саме кнопки «Пуск»/«Стоп» та дискретних датчиків рівня в баку-змішувачі;

- фізичні виходи від %Q0.0 до %Q0.6, які служать для безпосередньої видачі команд на силові виконавчі механізми, а саме контактори двигунів мішалки й шнека, котушки електромагнітних клапанів подачі води та допоміжні системи;

- внутрішні маркери пам'яті від %M1.0 до %M1.2, які використані як проміжні реле фіксації етапів процесу Filling_Active, а також як програмні канали зв'язку HMI_Start та HMI_Stop для дублювання команд керування з операторської панелі без ризику апаратного конфлікту на фізичних клеммах контролера.

Наявність вичерпних коментарів до кожного тегу спрощує подальше супроводження та пусконаладжувальних робіт системи автоматизації.

Програма реалізована у головному організаційному блоці Main OB1, який

здійснює циклічне опитування входів. Для розрахунку часу використано системні таймери IEC_Timer. Для збереження значень технологічних уставок тривалості перемішування розчину та часу роботи дозатора було створено глобальний блок даних Data_block_1 DB1, який зображений на рисунку 3.5.

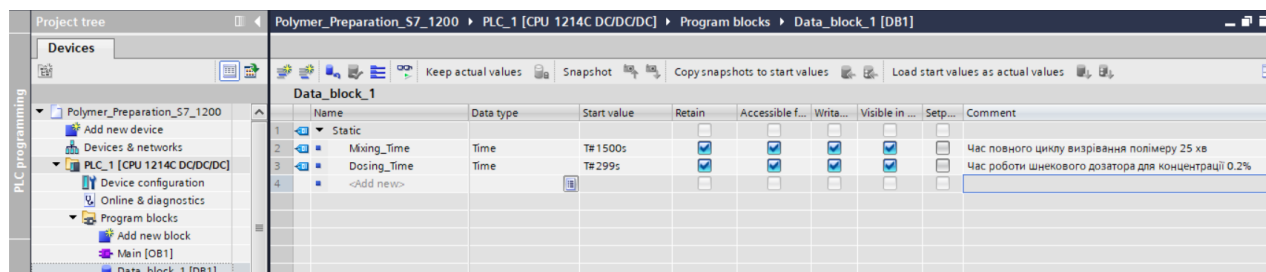


Рисунок 3.5 – Глобальний блок даних Data_Block_1 [DB1]

Використання глобального DB дозволяє централізовано зберігати змінні в енергонезалежній пам'яті ПЛК та забезпечує до них доступ з будь-якого сегмента програми, а також з екранів операторської панелі НМІ. У структурі блоку визначено дві основні змінні типу Time: Mixing_Time із базовим значенням T#1500s час повного циклу визрівання полімеру та Dosing_Time із значенням T#299s час роботи шнекового дозатора для забезпечення концентрації розчину 0.2%.

Мережа 1 реалізує комбінований алгоритм координації початкового наповнення бака-змішувача на базі двопозиційного SR-тригера із пріоритетом скидання Reset Priority. Особливістю архітектурного рішення є реалізація дубльованого керування:

- в автоматичному режимі від залізничних датчиків;
- в дистанційному за допомогою людино-машинного інтерфейсу НМІ.

Запуск процесу наповнення вхід S організовано за логічною схемою «АБО» паралельне підключення. Цей вхід ініціалізується автоматично при замиканні контакту датчика нижнього рівня %I0.2 DI_LSL_Mixer коли бак спорожніє або примусово оператором через сенсорну кнопку на панелі НМІ,

яка активує внутрішній маркер %M1.1 HMI_Start. На рисунку 3.6 зображена мережа 1.

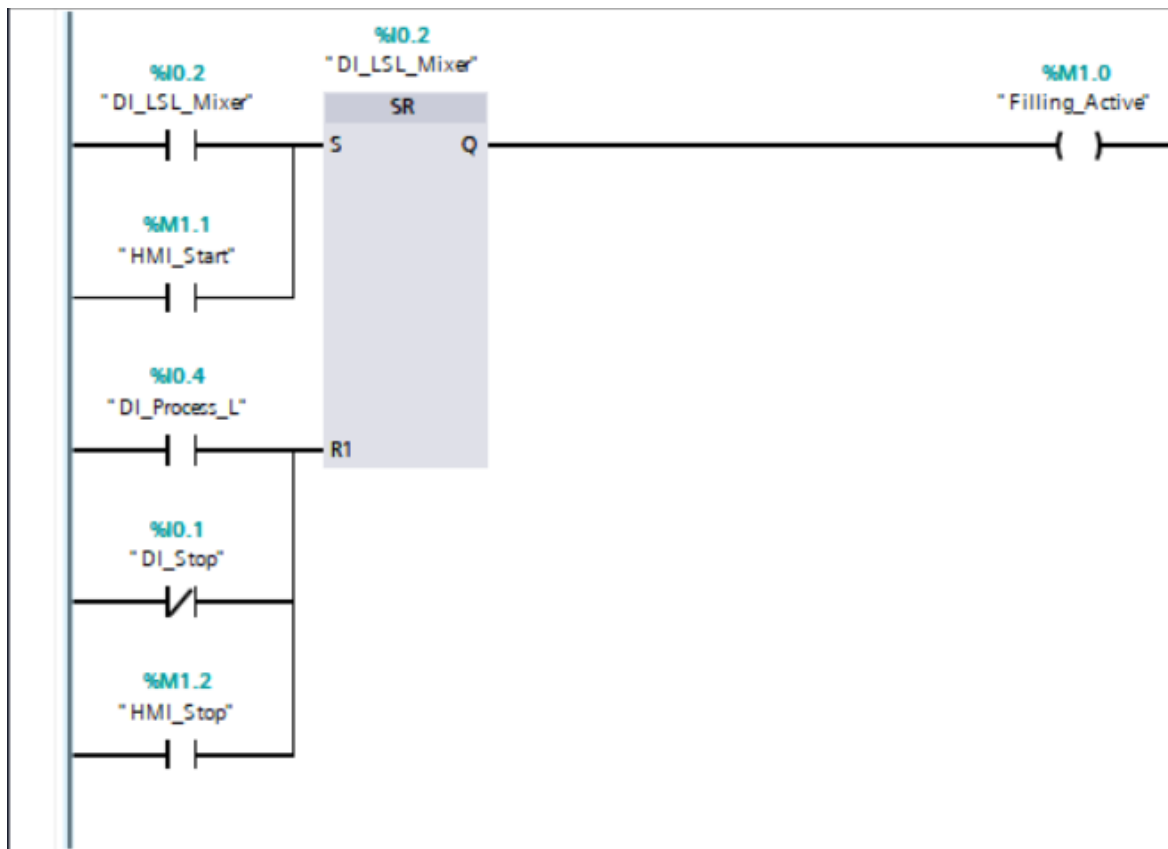


Рисунок 3.6 – Мережа 1 Логіка координації наповнення резервуара

Скидання тригера вхід R1 побудовано за аналогічною схемою «АБО» та об'єднує три незалежні канали:

- автоматичне відсікання при досягненні робочого рівня від датчика %I0.4 DI_Process_L;

- аварійну зупинку з фізичного пульта через кнопку %I0.1 DI_Stop;

- дистанційну зупинку з екрана HMI через маркер %M1.2 HMI_Stop.

Логічний стан тригера фіксується на котушці проміжного реле %M1.0 Filling_Active. Пріоритет входу скидання гарантує, що за умови одночасного надходження команд запуску та зупинки система залишиться в безпечному вимкненому стані.

Робота даного вузла базується на логіці двопозиційного SR-тригера із пріоритетом скидання Reset Priority. Запуск процесу вхід S ініціюється автоматично при спрацьовуванні датчика нижнього рівня %I0.2 DI_LSL_Mixer, що свідчить про повне спорожнення резервуара.

Скидання тригера вхід R1 реалізовано через паралельну логічну схему АБО: воно відбувається або автоматично при досягненні рідиною верхнього робочого рівня від датчика %I0.4 DI_Process_L, або в будь-який момент часу примусово оператором через кнопку аварійної зупинки %I0.1 DI_Stop.

Логічний стан тригера транслюється на котушку внутрішнього системного меркера %M1.0 Filling_Active, який виступає проміжним прапорцем для синхронізації з іншими мережами програми.

Використання тригера з пріоритетом скидання гарантує безпеку: за умови одночасного натискання кнопки «Стоп» та замикання датчика рівня, система залишиться в безпечному вимкненому стані, що повністю виключає аварійний перелив бака.

Схема побудована таким чином, що сигнал на закриття клапанів подається або автоматично від датчика робочого рівня %I0.4, або примусово оператором через кнопку аварійної зупинки %I0.1.

Таке технічне рішення відповідає нормам безпеки і виключає перелив бака-змішувача навіть при відмові автоматики. Використання SR-тригера з домінуванням скидання Reset Priority гарантує безпеку системи: при одночасному надходженні сигналу на наповнення та сигналу Стоп, клапани залишаться закритими.

Логіка передбачає автоматичне припинення подачі води при досягненні робочого рівня, що контролюється датчиком DI_Process. Для запобігання гідроударам та забезпечення точності дозування, в алгоритм закладено можливість роздільного керування клапанами А та В грубе та точне наповнення.

Мережа 2, яка зображена на рисунку 3.7, призначена для реалізації

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

часового регламенту визрівання та перемішування полімерного розчину.

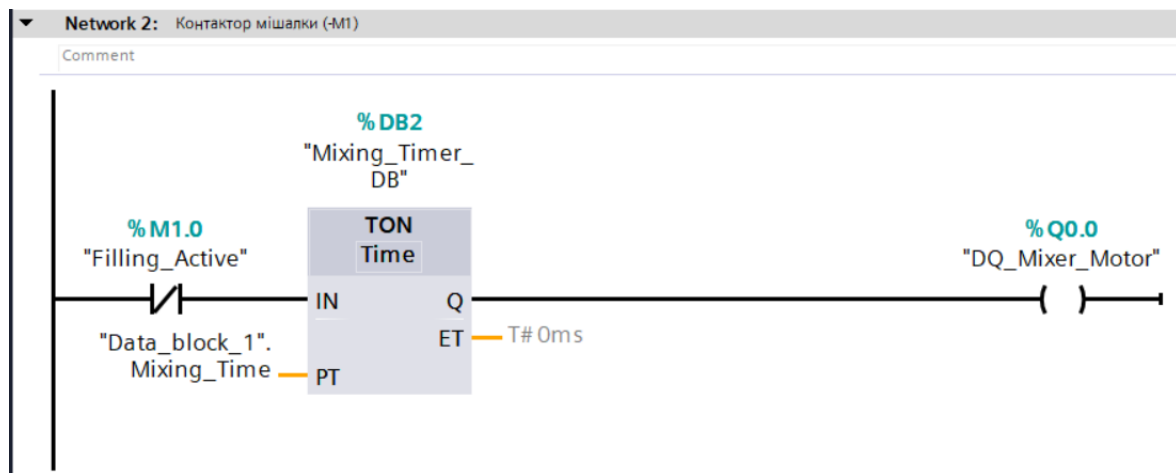


Рисунок 3.7 – Мережа 2 Алгоритм таймера визрівання розчину

Логічна структура даного сегмента коду базується на використанні стандартного системного функціонального блоку TON Timer On Delay.

Особливістю програмного рішення є синхронізація запуску відліку часу із фазами роботи системи наповнення. На вхід IN апаратного таймера підключено інверсний нормально закритий контакт проміжного реле %M1.0 Filling_Active. Такий підхід унеможливорює передчасний або помилковий старт мішалки під час безпосереднього набору води. Запуск відліку відбувається автоматично в момент скидання тригера наповнення коли маркер переходить у стан логічного нуля.

Параметр заданого технологічного часу PT Preset Time налаштований через символну адресацію на зчитування значення структурної змінної Data_block_1.Mixing_Time з глобальної бази даних DB1, де встановлено значення 1500 секунд.

Поточний плин часу контролюється екземплярним блоком даних Mixing_Timer_DB DB2, який забезпечує стабільність роботи алгоритму незалежно від тривалості циклу процесора ПЛК та захищає відлік від збоїв при коливанні дзеркала рідини.

На вхід IN апаратного таймера підключено інверсний нормально закритий контакт проміжного реле %M1.0 Filling_Active. Такий підхід унеможлиблює передчасний або помилковий старт мішалки під час безпосереднього набору води. Запуск відліку відбувається автоматично в момент скидання тригера наповнення коли маркер переходить у стан логічного нуля.

Параметр заданого технологічного часу PT Preset Time налаштований через символну адресацію на зчитування значення структурної змінної Data_block_1.Mixing_Time з глобальної енергонезалежної бази даних DB1, де встановлено значення 1500 секунд. Поточний плин часу контролюється екземплярним блоком даних Mixing_Timer_DB DB2, що забезпечує стабільність роботи алгоритму незалежно від тривалості циклу процесора програмованого логічного контролера.

Мережа 3, яка зображена на рисунку 3.8, є вихідним каскадом логічної програми контролера та відповідає за безпосереднє формування дискретних сигналів керування виконавчим обладнанням через фізичні виходи модуля DQ Digital Output ПЛК.

У даному сегменті коду реалізовано три паралельні логічні гілки. Керування електромагнітними клапанами подачі води %Q0.2 та %Q0.3 здійснюється через нормально відкритий контакт маркера %M1.0 Filling_Active. Клапани залишаються відкритими протягом усього циклу первинного набору рідини до моменту спрацювання датчика верхнього робочого рівня.

Керування електроприводом мішалки %Q0.0 здійснюється за допомогою сигналу на запуск контактора двигуна, який формується за умови комбінації двох факторів, а саме завершення фази наповнення інверсний стан прапорця %M1.0 та незавершеного відліку апаратного таймера визрівання інверсний стан прапорця виходу таймера Mixing_Timer_DB".Q. Це гарантує, що мішалка працюватиме рівно 1500 секунд і автоматично зупиниться.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

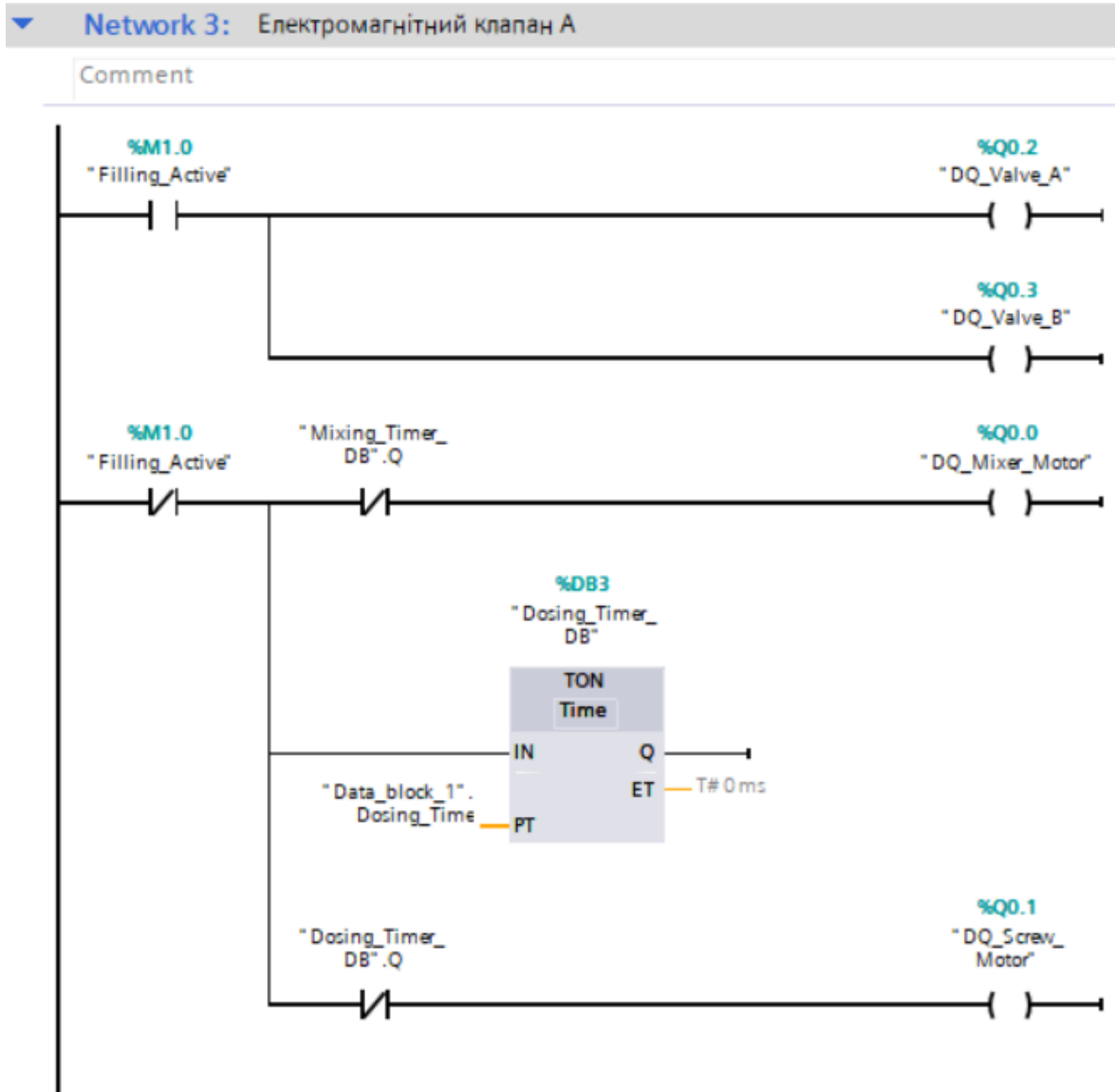


Рисунок 3.8 – Мережа 3 Вихідні кола керування виконавчим обладнанням

Керування шнековим дозатором флокулянту %Q0.1 здійснюється у відповідності до алгоритму, який забезпечує введення сухого полімеру на початковій стадії перемішування. Для обмеження часу роботи шнека задіяно другий незалежний апаратний таймер TON Dosing_Timer_DB DB3, який запускається синхронно з початком фази перемішування розчину.

Знімання інформації про завершення відліку виконується через звернення до прапорця за символічною адресою Dosing_Timer_DB.Q. Його нормально закритий контакт включено послідовно в коло котушки двигуна дозатора, що забезпечує автоматичне відсікання подачі сухої фракції рівно через 299 секунд,

запобігаючи передозуванню хімікатів.

Розділення загального алгоритму на інформаційне ядро мережа 1 та мережа 2, а також ізольований силовий вихідний каскад Мережа 3 відповідає міжнародним стандартам безпечного проєктування систем автоматизації та полегшує подальше промислове налагодження системи.

3.3 Розробка людино-машинного інтерфейсу НМІ оператора системи

Для забезпечення оперативного моніторингу, відображення поточного стану технологічного процесу та введення числових параметрів уставок у систему було розроблено людино-машинний інтерфейс на базі сенсорної панелі оператора серії SIMATIC Panel KTP700 Basic.

Інтеграція панелі оператора в загальний проєкт TIA Portal виконується через додавання пристрою Add new device > HMI. Мережевий зв'язок між ПЛК S7-1200 та HMI-панеллю налаштовується за протоколом PROFINET у розділі Devices & Networks шляхом створення логічного з'єднання HMI Connection. Це забезпечує пряму символічну адресацію між тегами контролера та графічними об'єктами інтерфейсу. Мережевий зв'язок між ПЛК S7-1200 та HMI-панеллю SIMATIC Panel KTP700 зображено на рисунку 3.9.

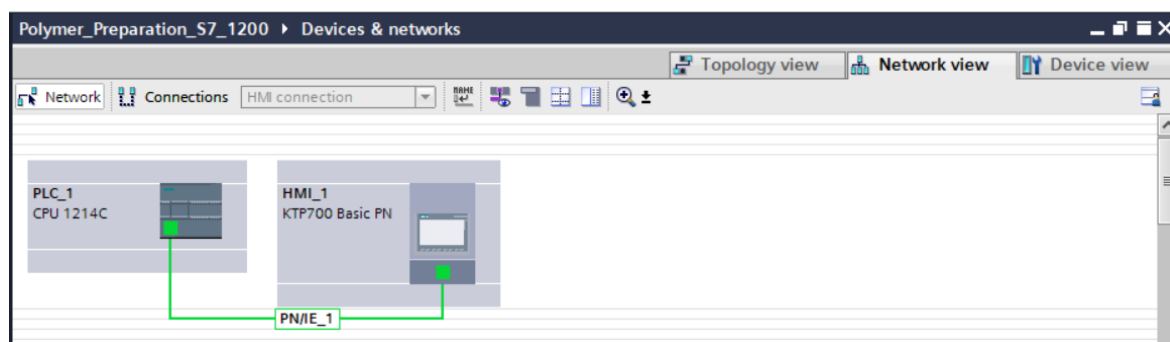


Рисунок 3.9 – Мережевий зв'язок між ПЛК S7-1200 та HMI-панеллю SIMATIC Panel KTP700

Базою для функціонування розробленого людино-машинного інтерфейсу є таблиця тегів HMI Default tag table, конфігурацію якої представлено на рисунку 3.10.

Name	Data type	Connection	PLC name	PLC tag
HMI_Doser_Motor	Bool	HMI_Connection_1	PLC_1	DQ_Screw_Motor
HMI_Dosing_Time	Time	HMI_Connection_1	PLC_1	Data_block_1.Dosing_Ti...
HMI_Filling_Active	Bool	HMI_Connection_1	PLC_1	Filling_Active
HMI_LSL_Mixer	Bool	HMI_Connection_1	PLC_1	DI_LSL_Mixer
HMI_LSP_Mixer	Bool	HMI_Connection_1	PLC_1	DI_LSH_Mixer
HMI_Mixer_Motor	Bool	HMI_Connection_1	PLC_1	DQ_Mixer_Motor
HMI_Mixing_Time	Time	HMI_Connection_1	PLC_1	Data_block_1.Mixing_Ti...
HMI_Process_L	Bool	HMI_Connection_1	PLC_1	DI_Process_L
HMI_Valve_A	Bool	HMI_Connection_1	PLC_1	DQ_Valve_A
HMI_Valve_B	Bool	HMI_Connection_1	PLC_1	DQ_Valve_B
Tag_ScreenNumber	UInt	<Internal tag>		<Undefined>
HMI_Start	Bool	HMI_Connection_1	PLC_1	HMI_Start
HMI_Stop	Bool	HMI_Connection_1	PLC_1	HMI_Stop

Рисунок 3.10 – Конфігурація таблиці тегів Default tag table панелі HMI

Зв'язування елементів графічного вікна із прикладним алгоритмом контролера базується на технології прямої символної адресації, що виключає помилки ручного розподілу пам'яті та забезпечує високу швидкість обміну даними в межах від 100 мс до 200 мс.

У структурі бази тегів HMI задіяно 11 технологічних змінних, які розподілені за такими функціональними групами:

- канали керування та сигналізації тип Bool, а саме теги HMI_Start та HMI_Stop, які інтегровані з проміжними меркерами пам'яті ПЛК %M1.1 та %M1.2 для реалізації дистанційних сенсорних команд пуску й зупинки системи;
- моніторинг виконавчих механізмів тип Bool, а саме змінні HMI_Mixer_Motor, HMI_Doser_Motor, HMI_Valve_A та HMI_Valve_B, які дублюють стан фізичних дискретних виходів контролера серії %Q0.x для динамічної зміни колірної палітри графічних об'єктів на мнемосхемі резервуара;
- контроль параметрів рівня тип Bool, а саме теги HMI_LSL_Mixer та

HMI_Process_L, які зв'язані з дискретними входами датчиків для відображення поточного стану заповнення бака-змішувача;

– параметризація та плин часу тип Time, а саме змінні HMI_Mixing_Time та HMI_Dosing_Time, які здійснюють пряме зчитування та запис уставок тривалості етапів технологічного процесу з енергонезалежного блоку даних DB1.

Застосування такої архітектури розподілу тегів забезпечує повну спостережуваність за ходом приготування розчину полімеру та дозволяє оперативно коригувати часові установки безпосередньо з робочого місця оператора.

На рисунку 3.11 зображено HMI-панель SIMATIC Panel KTP700.

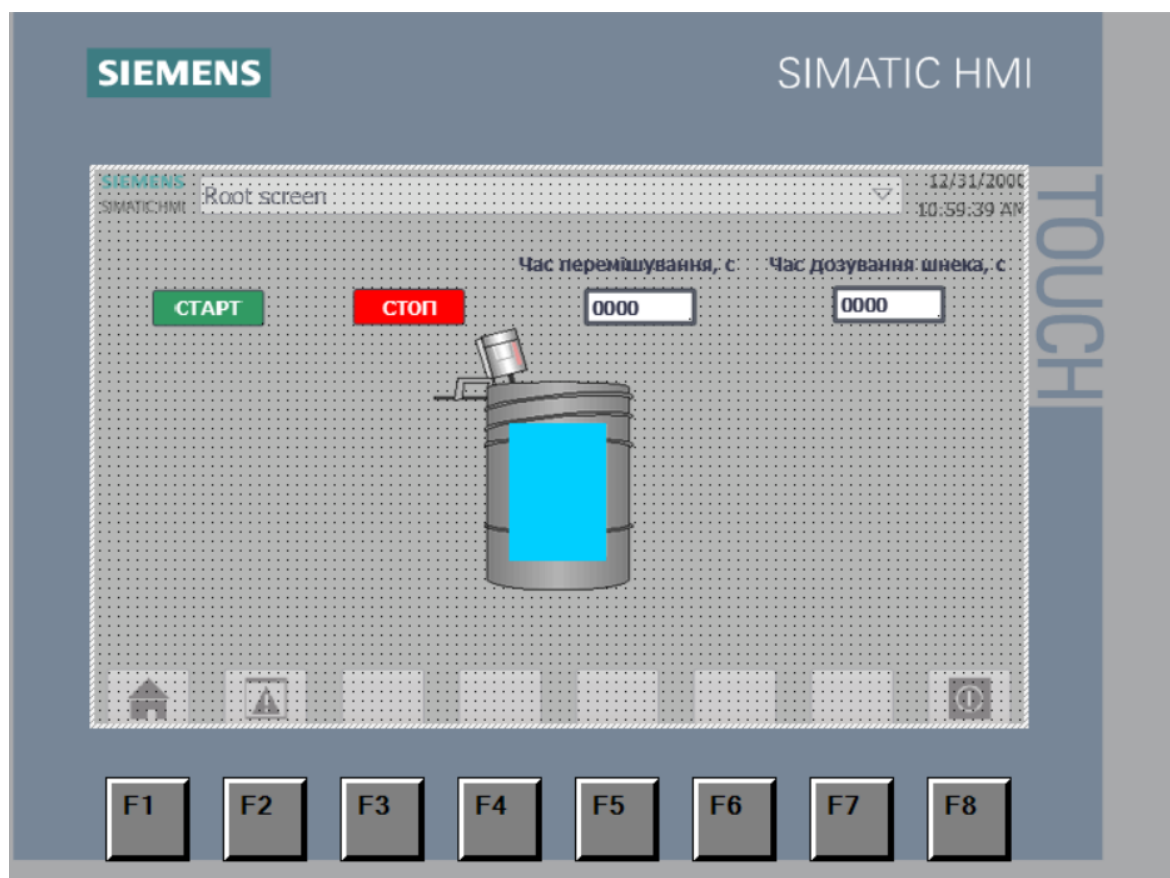


Рисунок 3.11 – HMI-панель SIMATIC Panel KTP700

Для візуального контролю роботи динамічного обладнання

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроприводів та виконавчих механізмів на мнемосхемі застосовано метод світлофорної колірної анімації об'єктів. Анімацію реалізовано через системну властивість Animations -> Display -> Appearance графічних елементів.

Зокрема, для приводу бака-змішувача налаштовано пряму залежність від технологічного тегу ПЛК HMI_Mixer_Motor дискретний вихід %Q0.0. При нульовому значенні тегу 0 змішування вимкнено і корпус двигуна зберігає нейтральний сірий колір, що вказує на знеструмлений або пасивний стан обладнання.

При переході процесу до фази гомогенізації розчину та активації виходу ПЛК 1 двигун активується, колір графічного відображення мотора автоматично змінюється на насичений зелений. Це забезпечує миттєве привернення уваги оператора до активної фази циклу приготування без необхідності зчитування додаткових текстових повідомлень

У ході проектування людино-машинного інтерфейсу HMI на базі операторської панелі серії Siemens KTP700 Basic особливу увагу було приділено візуалізації стану наповнення головного реактора-змішувача.

Для відображення наявності рідини в ємності базовий інструментарій середовища розробки TIA Portal WinCC Basic пропонує стандартний аналоговий елемент Bar гістограма. Проте, спроба прямої прив'язки дискретного технологічного тегу HMI_Filling_Active тип даних Bool, маркер ПЛК %M1.0 до елемента типу Bar призвела до помилки компіляції проекту The process tag is invalid. The tag has an invalid data type.

Дана помилка обумовлена апаратними обмеженнями базових панелей оператора, де графічний об'єкт Bar призначений виключно для відображення безперервних числових масивів типів даних Int, Word або Real.

З метою усунення конфлікту типів даних та збереження високої швидкодії інтерфейсу без задіяння додаткових обчислювальних блоків перетворення типів MOVE у пам'яті ПЛК, було реалізовано оптимізоване інженерне рішення на основі динамічного керування властивостями

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стандартних графічних примітивів та багатошарової структури екрана.

Архітектура побудови та пошарове компонування вузла реактора. Нижній графічний шар Layer 0 є базовим конструктивом. В якості основи використано статичний об'єкт Graphic view_1 із вбудованої бібліотеки промислових елементів Siemens HMI Symbol Library -> Tanks.

Обрано модель вертикального циліндричного реактора, який конструктивно містить зображення верхнього електропривода (мотора) та внутрішнього вала з лопатями мішалки.

Проміжний динамічний шар Layer 1 імітує рідини. Поверх внутрішнього контуру бака накладено стандартний геометричний об'єкт типу Rectangle прямокутник. Для створення реалістичного ефекту рідкого середовища виконано такі налаштування.

Стиль заповнення виставлено у режим Fill pattern вибрано Solid із колірною гамою 0, 207, 255 насичений блакитний колір. Товщину зовнішньої рамки встановлено в значення Border width вибрано 0, що дозволило ліквідувати чорний контур і забезпечити візуальну монолітність об'єкта.

Верхній шар керування Layer 2 відображає клема інтерфейсу оператора. На передньому плані розміщено керівні кнопки СТАРТ і СТОП та поля введення часових уставок, що гарантує їхню постійну доступність для оператора та виключає ризик перекриття графічними елементами бака.

Замість ресурсомісткої анімації зміни кольору кольорової палітри Appearance, для прямокутника рідини було застосовано логічний алгоритм Visibility, а саме керування видимістю. В якості керуючого параметра призначено двійковий тег HMI_Filling_Active.

Діапазон відображення налаштовано в межах від 1 to до 1 із прапорцем Visible, а саме видимий. Алгоритм функціонування мнемосхеми в режимі реального часу Runtime наступний. Стан очікування HMI_Filling_Active = 0.

Програмне забезпечення панелі оператора примусово приховує прямокутник рідини. Система відображає реактор абсолютно порожнім,

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечуючи оператору чітку видимість внутрішнього механічного устрою вала та лопатей мішалки.

Активна фаза наповнення HMI_Filling_Active = 1. Пристрій відображення миттєво активує видимість прямокутника. Блакитний блок перекриває внутрішню зону реактора, створюючи точний візуальний ефект заповнення ємності водою.

Даний підхід дозволив повністю вирішити проблему сумісності типів даних, забезпечив успішне завершення компіляції проекту з нульовим показником помилок Errors: 0 та підвищив загальну ергономіку і швидкість зчитування інформації з головного екрана SCADA/HMI системи.

3.4 Висновки до третього розділу

Розроблено та формалізовано циклічний алгоритм роботи системи автоматичного керування процесом приготування полімерного розчину, який функціонує на основі сигналів зворотного зв'язку від датчиків рівня та внутрішніх системних таймерів.

Логіка алгоритму забезпечує чітку послідовність етапів, а саме попереднє наповнення водою, дозована подача сухого чи концентрованого полімеру, гомогенізація розчину мішалкою та вивантаження готового реагенту, мінімізуючи вплив людського фактора та гарантуючи стабільність концентрації розчину для зневоднення осадів стічних вод.

Створено прикладне програмне забезпечення для промислового контролера архітектури Siemens S7-1200 у середовищі розробки TIA Portal. Реалізована керуюча логіка дозволяє здійснювати моніторинг дискретних і аналогових сигналів у реальному часі, обробляти часові інтервали технологічних затримок за допомогою системних таймерів та формувати команди керування для виконавчих механізмів, а саме електромагнітних клапанів, привода мішалки та дозатора.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Спроектовано людино-машинний інтерфейс НМ на базі графічної операторської панелі Siemens KTP700 Basic. На головному екрані Root screen реалізовано ергономічне розташування елементів оперативного керування, а саме кнопки СТАРТ, СТОП та числово-параметричних полів введення/виведення часових уставок, що забезпечує гнучкість налаштування параметрів змішування та дозування шнека безпосередньо з робочого місця оператора.

Вирішено проблему апаратно-програмної сумісності типів даних при розробці мнемосхеми в WinCC Basic. Через обмеження базових панелей щодо прив'язки двійкових тегів типу Bool до аналогових індикаторів типу Var, яке викликало помилку компіляції, було впроваджено оптимізоване інженерне рішення, а саме використання геометричного примітива типу Rectangle із налаштованою логічною анімацією видимості Visibility за прямою залежністю від технологічного маркера HMI_Filling_Active.

Завдяки реалізації пошарової структури графічних шарів Layer 0 для статичного реактора-змішувача з конструктивними лопатями, Layer 1 для динамічного прямокутника імітації рідини з нульовим контуром та Layer 2 для керівних елементів екрана, досягнуто високого рівня інформативності інтерфейсу.

Ефект скляного реактора дозволяє візуально розділяти стан спокою системи, коли оператор бачить внутрішню механіку мішалки та активну фазу наповнення бака, коли поверхня перекривається синім колірним шаром реагенту, що підтверджено успішною фінальною компіляцією проєкту з нульовим показником критичних помилок.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розв'язано актуальну науково-технічну задачу підвищення ефективності та стабільності процесу механічного зневоднення осадів стічних вод на очисних спорудах МКП «Хмельницькводоканал» шляхом проектування та впровадження сучасної автоматизованої системи приготування полімерного розчину.

За результатами виконаних досліджень, розрахунків та розробок зроблено такі висновки. Проведено детальний аналіз технологічного процесу обробки надлишкового активного мулу, вологість якого на вході сягає 99,5%.

Доведено, що традиційні ручні або релейні схеми підготовки реагентів не здатні врахувати високу інерційність розчинення високомолекулярних флокулянтів та мінливість фізико-хімічних властивостей осаду. Це призводить до перевитрати дорогої хімічної сировини та нестабільної якості зневодненого кеку. Впровадження автоматизованої системи дозволило мінімізувати вплив людського фактора та стабілізувати концентрацію готового розчину.

На основі критеріїв надійності, модульності та стійкості до агресивних середовищ обрано сучасний комплекс засобів автоматизації фірми Siemens. В якості центрального керуючого пристрою застосовано програмований логічний контролер Simatic S7-1200, який забезпечує швидкодію обробки технологічних сигналів. Для оперативного моніторингу та діагностики системи персоналом обрано графічну операторську панель Simatic HMI KTP700 Basic.

У середовищі розробки TIA Portal створено прикладне програмне забезпечення ПЛК, що реалізує циклічну логіку послідовного виконання технологічних етапів: від попереднього наповнення реактора водою та точного дозування сухого полімеру за допомогою шнекового живильника до витриманого часу дозрівання гомогенізації розчину мішалкою та вивантаження готового реагенту. Використання внутрішніх системних таймерів забезпечило чітку часову синхронізацію та безпеку функціонування обладнання.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблено ергономічну мнемосхему головного вікна керування Root screen. На екрані реалізовано інтуїтивно зрозуміле розташування динамічних об'єктів, кнопок пуску/зупинки, а також числово-параметричних полів введення часових уставок, що дає оператору можливість гнучко коригувати тривалість змішування та дозування безпосередньо з робочого місця диспетчера.

У ході проектування інтерфейсу успішно вирішено проблему апаратно-програмного обмеження WinCC Basic щодо неможливості прив'язки дискретних сигналів Bool до аналогового індикатора рівня Var, що спочатку викликало помилку компіляції.

Впроваджено ефективне інженерне рішення шляхом використання графічного примітива Rectangle із налаштованою динамічною анімацією видимості Visibility залежно від технологічного тегу HMI_Filling_Active. Створення тришарової графічної структури дозволило досягти ефекту «скляного реактора», де у стані спокою оператор бачить внутрішній устрій мішалки, а під час наповнення – суцільний блакитний стовпчик рідини.

Проектна документація пройшла повне тестування та фінальну компіляцію в TIA Portal з нульовим показником критичних помилок Errors 0. Запропоноване рішення дозволяє знизити питомі витрати флокулянта від 10 % до 15%, зменшити вологість зневодненого осаду кеку, що суттєво скорочує витрати підприємства на його подальше транспортування та утилізацію, а також покращує екологічні показники регіону.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ: Мінрегіон України, 2013. 164 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=28751.
2. Improvement of Sludge Dewatering by Ultrasonic Pretreatment / F. G. Kootenaei, N. Mehrdadi, G. N. Bidhendi et al. International Journal of Environmental Research. 2022. Vol. 16, № 50. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41742-022-00431-1>.
3. Швед В. В. Екологічна безпека процесів обробки та утилізації осадів стічних вод. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2021. № 1 (23). С. 42–49. DOI: [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1\(23\)-42-49](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1(23)-42-49).
4. Кравченко Н. В., Кравченко О. В. Дослідження впливу структури активного мулу на ефективність його зневоднення. Екологічні науки. 2020. № 6 (33). С. 138–142. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.22>.
5. Гіроль М. М., Гіроль А. Б., Олішевський В. В. Технології та обладнання для зневоднення осадів стічних вод. Водопостачання та водовідведення. 2019. № 4. С. 28–35. URL: <http://web.nuwm.edu.ua/e-journals/vv/>.
6. Павлюк В. В. Особливості реалізації ПД-регуляторів у середовищі ГІА Portal при автоматизації процесів водовідведення. Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. 2021. № 1 (87). С. 112–120. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/handle/123456789/7854>.
7. Гіроль М. М. Процеси та апарати для підготовки реагентів у системах очищення стічних вод. Вода та водоочисні технології. Науково-технічні вісті. 2020. № 2 (27). С. 15–22. DOI: <https://doi.org/10.20535/2218-9300.272020.220141>.
8. Швед В. В., Козловська Т. Ф. Автоматизація технологічних вузлів приготування флокулянтів для обробки осадів. Вчені записки ТНУ ім. В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. Т. 32 (71), № 3. С. 98–104. DOI: <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2021.3/17>.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

9. Швед В. В. Автоматизація дозування сипких матеріалів у технологічних процесах водоочищення. Технічні науки та технології. 2019. № 3 (17). С. 210–217. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-3\(17\)-210-217](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-3(17)-210-217).

10. Павлюк В. В. Використання сучасних засобів вимірювальної техніки в АСУ ТП комунальних підприємств. Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. 2020. № 2 (86). С. 145–152. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/handle/123456789/7341>.

11. Лакида Ю. П. Аналіз ефективності систем автоматичного регулювання в задачах водоочищення. Автоматизація об'єктів та процесів. 2019. № 2. С. 45–51. URL: <http://journals.nuft.edu.ua/>.

12. Лакида Ю. П. Аналіз енергоефективності систем автоматичного регулювання в задачах комунального господарства. Автоматизація об'єктів та процесів. 2019. № 2. С. 52–58. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/>.

13. Павлюк В. В. Дослідження динамічних характеристик об'єктів дозування реагентів. Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. 2022. № 1 (89). С. 130–138. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/>.

14. Швед В. В. Енергозберігаючі технології в системах автоматичного керування насосними станціями та дозаторами. Технічні науки та технології. 2022. № 2 (28). С. 180–188. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-2\(28\)-180-188](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-2(28)-180-188).

15. Швед В. В. Автоматизація технологічних вузлів приготування флокулянтів. Вчені записки ТНУ ім. В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. Т. 32, № 3. С. 98-104. DOI: <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2021.3/17>.

16. Кравченко Н. В. Модернізація АСУ ТП муніципальних об'єктів водовідведення на базі сучасних ПЛК. Екологічні науки. 2023. № 5 (44). С. 156–162. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-44.25>.

17. Кузнецов С. О. Моделювання та оптимізація систем автоматичного регулювання складних технологічних процесів. Комп'ютерні технології та системи. 2021. № 42. С. 89–95. URL: <http://nbuv.gov.ua/>.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

18. Швед В. В. Підвищення надійності АСУ ТП об'єктів водоканалу через впровадження методів діагностики. Технічні науки. 2020. № 4. С. 220–228. URL: <http://irbis-nbuv.gov.ua/>.

19. Кравченко Н. В. Цифровізація управління інфраструктурою водовідведення як фактор екологічної безпеки. Екологічні науки. 2024. № 2 (51). С. 10–18. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-51.2>.

20. Павлюк В. В. Особливості програмування контролерів Siemens S7-1200 у середовищі TIA Portal. Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. 2021. № 2 (88). С. 102–110. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/>.

21. Швед В. В. Критерії вибору мікропроцесорної техніки для систем автоматизації об'єктів ЖКГ. Технічні науки та технології. 2023. № 1 (31). С. 145–153. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-1\(31\)-145-153](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-1(31)-145-153).

22. Кравченко Н. В. Кібербезпека та надійність в системах автоматизації міських об'єктів водовідведення. Екологічні науки. 2024. № 1 (50). С. 180–186. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-50.28>.

23. Лакида Ю. П. Досвід експлуатації ПЛК Siemens на підприємствах водного господарства. Автоматизація об'єктів та процесів. 2020. № 1. С. 30–36. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/>.

24. Standard methods for the examination of water and wastewater / APHA; American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation. 23rd edn. Washington, 2017. 1504 p. URL: <https://www.standardmethods.org/>.

25. Stimulating effect of hydrostatic pressure on ultrasonic sewage sludge treatment for COD solubilization and methane production / M. Bardi et al. Bioresource Technology. 2022. Vol. 348. Art. 126785. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126785>.

26. Using ultrasonic (US)-initiated template copolymerization for preparation of an enhanced cationic polyacrylamide (CPAM) and its application in sludge

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

dewatering / L. Feng et al. Ultrasonics Sonochemistry. 2018. Vol. 44. P. 53–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.02.008>.

27. Ultrasonic coupled bioleaching pretreatment for enhancing sewage sludge dewatering: simultaneously mitigating antibiotic resistant genes and changing microbial communities / J. Huang et al. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2020. Vol. 193. Art. 110349. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110349>.

28. Performance assessment of ultrasonic sludge disintegration in activated sludge wastewater treatment plants under nutrient-deficient conditions / N. Lambert et al. Chemical Engineering Journal. 2022. Vol. 431, No. 2. Art. 133979. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133979>.

29. Enhancement of the sludge disintegration and nutrients release by a treatment with potassium ferrate combined with an ultrasonic process / W. Li et al. Science of The Total Environment. 2018. Vol. 635, No. 1. P. 699–704. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.143>.

30. Lippert T., Bandelin J., Schlederer F., Drewes J., Koch K. Effects of ultrasonic reactor design on sewage sludge disintegration. Ultrasonics Sonochemistry. 2020. Vol. 68. Art. 105223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105223>.

31. Optimizing dewaterability of drinking water treatment sludge by ultrasound treatment: correlations to sludge physicochemical properties / Z. Meng et al. Ultrasonics Sonochemistry. 2018. Vol. 45. P. 95–105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.03.003>.

32. Optimization of integrated ultrasonic-Fenton system for metal removal and dewatering of anaerobically digested sludge by Box-Behnken design / J. Rumky et al. Science of The Total Environment. 2018. Vol. 645. P. 573–584. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.159>.

33. Water and wastewater treatment technologies / X. Thanh Bui, C. Chiemchaisri, T. Fujioka, S. Varjani. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2019. 396 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-13-3259-3>.

					<i>КвРАКИТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

34. Study on ultrasonic treatment for municipal sludge / X. Xua et al. Ultrasonics Sonochemistry. 2019. Vol. 57. P. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.05.004>.

35. The release and removal of sludge toxicity by diferent disintegration methods / Y. Yang et al. Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 278, No. 1. Art. 123578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123578>.

36. Conditioning of sewage sludge via combined ultrasonication-focculation-skeleton building to improve sludge dewaterability / C. Zhu, P. Zhang, H. Wang, J. Ye. Ultrasonics Sonochemistry. 2018. Vol. 40. P. 353–360. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.07.031>.

37. Zielewicz E. Efects of ultrasonic disintegration of excess sewage sludge. Applied Acoustics. 2016. Vol. 103B. P. 182–189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.06.012>.

38. Martynyuk V., Noryk V., Kałaczyński T. Diagnostic device of the sewage pumping station. // 22nd International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles: MATEC Web of Conferences. 2024. Vol. 391. Art. 01021. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/202439101021>.

39. Мартинюк В., Норик В. Огляд методів та засобів моніторингу кіберфізичної системи водопостачання міста. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Хмельницький, 2024. № 1. С. 112–116. DOI: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-1-17>.

40. Adedeji K. B., Намат Y. Кіберфізичні системи для управління мережами водопостачання: основи, проблеми та дорожня карта. Sustainability. 2020. Vol. 12, No. 22. Art. 9555. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12229555>.

					<i>КвРАКІТР. 2023144.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник Василишин Олександр Васильович

Тема: Система автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод

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

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 69

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка системи автоматичного керування процесом приготування полімерного розчину, що застосовується для ефективного кондиціонування та подальшого зневоднення осадів стічних вод на очисних спорудах.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено детальний аналіз технологічного процесу очищення та дегідратації осадів стічних вод, розглянуто фізико-хімічні особливості флокуляції за допомогою полімерних розчинів, обґрунтовано необхідність автоматизації етапів розчинення і витримання реагентів, а також виконано огляд сучасних технічних рішень у цій галузі. У другому розділі здійснено обґрунтування архітектури системи автоматичного керування та вибору технічних засобів. Розроблено функціональну схему автоматизації, а також електричну принципову схему з урахуванням вимог надійності та безпеки експлуатації електрообладнання. У третьому розділі описано процес розробки алгоритмів роботи системи у різних режимах та створення програмного забезпечення для промислового логічного контролера.
4. Позитивні сторони роботи: Розроблена система забезпечує високу точність приготування заданої концентрації полімерного розчину завдяки чіткому алгоритмічному взаємозв'язку між каналами подачі води та концентрату.

5. Негативні сторони роботи: У пояснювальній записці детально представлено алгоритми приготування та дозування флокулянту, проте недостатньо уваги приділено математичному опису динаміки процесу розчинення полімеру як об'єкта керування з транспортним запізненням, що ускладнює оцінку якості регулювання у перехідних режимах.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно (78/С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Стецюк Михайло
Васильович, 5 викладач, Р610, к-ф кібербезпеки

“15” серпня 2026 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки Людмилі КОРЕЦЬКІЙ
здобувача вищої освіти
Василишина Олександра Васильовича
факультет ІТ, курс ІІІ, група АКІТРС-23-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений. Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.06.2025
дата


підпис

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Олександр ВАСИЛИШИН

Співавтор:

Назва: Васишлишин_антиплагіат

Експерт: Валерій МАРТИНЮК

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1: 1.66%

Коефіцієнт подібності 2: 0.41%

Мікропробіли: 22

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-15 17:52:07.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-06-15

Доцент Микола Федула

Дата

експерт

Anti-Plagiarism v-15.258 (global version)

The maximum coincidence with one document 1.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 9%

ID: 275362 Title: БКР Система автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод Added in a DB: 2026-06-15 Authors: Олександр ВАСИЛИШИН Heads: Валерій МАРТИНЮК Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	87403	682	1454 (2%)	17 (2%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи: «Система автоматичного керування приготуванням полімерного розчину для зневоднення осадів стічних вод»

Автор: Василишин Олександр Васильович

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

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

Науковий керівник: Мартинюк Валерій Володимирович, д-р техн. наук, проф.

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т. ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є академічним плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках, у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів, у назвах публікацій у переліку джерел посилення;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/ схожості, складає 1,66% і адресується до 10 джерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Дата 15.06.2016р.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Людмила КОРЕЦЬКА

Юрій ФОРКУН

Валерій МАРТИНЮК