

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти – бакалавр
за освітньо-професійною програмою
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

зі спеціальності
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

тема роботи:

***«Автоматизація процесу зневоднення концентрату вакуум-
фільтрами КДФ-90 в умовах ГЗК»***

Виконав студент гр. ЗАКІТ-22ск _____ Божок Н. Ю.

Керівник _____ Тиханський М.П.

Нормоконтроль _____ Маринич І. А.

Завідувач кафедри _____ Рубан С. А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С.А.

« 28 » січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи ЗАКІТ-22ск Божок Надії Юріївни

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизація процесу зневоднення концентрату вакуум-фільтрами КДФ-90 в умовах ГЗК»

затверджено наказом по університету № 106с від 29.01.2025 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 06.06.2025 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 80с., презентація у Microsoft PowerPoint (16 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-2

доц. Тиханський М. П.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>01.03.25</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>05.04.25</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>01.05.25</i>
4	<i>Висновки</i>	<i>25.05.25</i>
5	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>28.05.25</i>
6	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>20.05.25</i>
7	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>03.06.25</i>

6. Дата видачі завдання: 28.01.2025р.

Керівник _____ / Тиханський М. П./

7. **Запевнення:** Я, Божок Надія Юріївна, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомена.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент _____ / Божок Н. Ю./

/

АНОТАЦІЯ

Божок Н.Ю. Автоматизація процесу зневоднення концентрату вакуум-фільтрами КДФ-90 в умовах ГЗК: кваліфікаційна робота бакалавра: 151 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2025. 80 с.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності процесу зневоднення залізорудного концентрату шляхом розробки сучасної системи автоматичного керування.

У першому розділі проаналізовано технологічний процес зневоднення концентрату та існуючі системи керування на вакуум-фільтрах КДФ-90. Існуючі системи не забезпечують необхідної стабільності та надійності, що призводить до погіршення якості продукту та зносу обладнання. На основі аналізу обґрунтовано доцільність розробки нової централізованої системи автоматичного керування для підвищення ефективності процесу.

У другому розділі, для підтвердження переваг нового підходу, виконано імітаційне моделювання в середовищі MATLAB, яке довело значно вищу стабільність ПІД-системи порівняно з існуючою. На основі цього в TIA Portal розроблено повний комплекс програмно-технічних рішень для керування шістьма фільтрами, що включає ПЛК Siemens S7-1200, інтелектуальні приводи Rotork IQ3 та проекти візуалізації для HMI і SCADA-системи.

ВАКУУМ-ФІЛЬТР КДФ-90, ЗНЕВОДНЕННЯ КОНЦЕНТРАТУ, СТАБІЛІЗАЦІЯ РІВНЯ ПУЛЬПИ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, ПІД-РЕГУЛЮВАННЯ, SCADA, INDUSTRY 4.0, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ГЗК.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ</i>						
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>АНОТАЦІЯ</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Божок Н.Ю.</i>									
<i>Перевір.</i>		<i>Тиханський М.П.</i>								4	1
									<i>КНУ ЗАКІТ-22ск</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>									
<i>Затверд.</i>											

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ	10
1.1 Загальні відомості про технологічний процес	10
1.1.1 Стисла характеристика галузі.....	10
1.1.2 Умови застосування системи, що проектується	12
1.2 Опис об'єкта керування та аналіз технологічного процесу	13
1.2.1 Характеристика і структура об'єкта	13
1.3 Принципи побудови об'єкту дослідження	20
1.4 Аналіз існуючих рішень автоматизації технологічного процесу	22
1.4.1 Аналітичний огляд існуючих способів контролю і процесів керування	22
1.4.2 Обґрунтування необхідності модернізації на основі проведеного аналізу	24
1.4.3 Формулювання завдань, що підлягають вирішенню під час виконання роботи	26
Висновки до розділу:	27
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА САК ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ТА ЇЇ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ	28
2.1 Обґрунтування створення системи автоматизації.....	28
2.1.1 Визначаються вхідні і вихідні параметри	29
2.1.2 Аналіз режимів функціонування об'єкта управління	29

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ					
Розроб.		Божок Н.Ю.								
Перевір.		Тиханський М.П.								
Н. Контр.		Маринич І.А.								
Затверд.					КНУ ЗАКІТ-22ск					
					Літ.		Арк.		Аркушів	
							5		2	

2.2 Математичний опис об'єкту керування.....	32
2.3 Моделювання та порівняння з реальними параметрами старої та нової системи керування	33
2.4 Вибір технічних засобів автоматизації (апаратна реалізація)....	34
2.4.1 Датчик рівня	35
2.4.2 Модуль аналогового вводу/виводу	36
2.4.3 Контролер SIMATIC S7–1200	36
2.4.4 Панель оператора.....	37
2.4.5 Комутаційний модуль.....	38
2.4.6 Модуль профібас.....	39
2.4.7 Виконуючий механізм.....	40
2.5 Розробка структурної схеми	41
2.6 Розробка програмного забезпечення	43
2.7 Конфігурування програмованого логічного контролера.....	47
2.7.1 Створення проекту та конфігурація апаратного забезпечення.....	47
2.8 Розробка програмного забезпечення для SCADA системи.....	55
2.9 Розробка функціональної схеми автоматизації	60
2.10 Розробка схеми електричної принципової	63
Висновок до розділу	64
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	68

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АС – автоматизована система;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

БД – база даних;

ІЗ – інформаційне забезпечення;

ПЗ – програмне забезпечення;

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – це система контролю та збору даних. Вона являє собою програмне та апаратне обладнання, що використовується для моніторингу та управління різними процесами у промислових об'єктах, таких як заводи, електростанції, системи водопостачання та інші.

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ						
Розроб.	Божок Н.Ю.										
Перевір.	Тиханський М.П.										
Н. Контр.	Маринич І.А.										
Затверд.					КНУ ЗАКІТ-22ск						
					Літ.	Арк.	Аркушів				
						7	1				

ВСТУП

В даній кваліфікаційній роботі розглядається можливість модернізації автоматизованої системи управління підтримки рівня пульпи в ванні вакуум-фільтра на ПрАТ «ЦГЗК» збагачувальної фабрики.

Модель відноситься до галузі магнітного збагачення руд.

Гірничо-збагачувальна промисловість є основою металургійного комплексу України, забезпечуючи виробництво і переробку залізорудної сировини для виробництва сталі. У Криворізькому залізорудному басейні розміщено ПрАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» (ПрАТ «ЦГЗК»), зосереджено ключові підприємства, що виробляють залізорудний концентрат із вмістом заліза 65–70,5% і котуни з вмістом заліза близько 63–68%. Галузь характеризується високою технологічною складністю, значними енерговитратами та потребами в модернізації обладнання для підвищення продуктивності, зниження собівартості й відповідності екологічним стандартам. Сучасні виклики галузі включають впровадження автоматизованих систем керування, інтеграцію з концепціями Industry 4.0 (IoT, цифрові двійники) та оптимізацію технологічних процесів для забезпечення конкурентоспроможності на глобальному ринку.

Процес зневоднення флотаційного концентрату на вакуум-фільтрах КДФ-90 є допоміжним етапом збагачення на ЦГЗК, спрямованим на видалення надлишкової вологи з концентрату перед його орудюванням або транспортуванням. Технологічний процес включає подачу пульпи зі збірного зумпфа до ванни вакуум-фільтра через регульований клапан (витрата Q_p), фільтрацію під дією вакууму (B), осадження твердої фази (кеку) на обертових дисках із частотою ω_d і відведення слабкої фази (фільтрату). Основні вихідні параметри – продуктивність по кеку (G , до 90 т/год) і вологість кеку (W_k , 8–

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Божок Н.Ю.			ВСТУП			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Тиханський М.П.								8	2
Н. Контр.		Маринич І.А.						КНУ ЗАКІТ-22ск			
Затверд.											

12%). Стабілізація рівня пульпи у ванні (0,3–0,5 м) є критичною, відхилення від відхилень призводять до переливу або захоплення повітря, що знижує ефективність фільтрації. Характеризується збурюючими факторами: гранулометричним складом, розрідженням пульпи і перепадами температур.

Проблема, досліджувана в роботі, виникає із-за недостатньої ефективності керування процесом зневоднення на вакуум-фільтрах КДФ-90 через нелінійність процесу, багатопараметричні взаємозв'язки та вплив збурюючих факторів. Традиційні методи автоматичного керування не забезпечують стабільність рівня пульпи, що призводить до зниження продуктивності, підвищення вологості кеку та зростання енерговитрат. Удосконалення процесу управління потребує розробки системи автоматичного керування (САК) на основі сучасного апаратного (PLC Siemens S7-1200, датчиків рівня фірми «Microsonic» та інтелектуальних виконуючих механізмів «Rotork IQ3»), програмного (TIA Portal, SCADA WinCC) та інформаційного забезпечення (алгоритми ПД-регулювання). Система має забезпечити стабілізацію рівня та інтеграцію з системами моніторингу для підвищення ефективності технологічного процесу.

Актуальність теми зумовлена забезпеченням модернізації технологічних процесів на ГЗК для підвищення їхньої конкурентоспроможності. Впровадження автоматизації на КДФ-90 у ПрАТ «ЦГЗК» дозволяє досягти вищої продуктивності (G до 90 т/год), зниження вологості кеку (W_k до 8–12%) та економії енерговитрат. Застосування сучасних засобів автоматизації відповідає тенденціям Industry 4.0, сприяючи цифровізації виробництва, інтеграції зі SCADA. Розробка адаптивної САК, яка оптимізує процес, є актуальною практичною задачею, що має технологічний ефект для ЦГЗК та інших підприємств галузі.

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Загальні відомості про технологічний процес

1.1.1 Стисла характеристика галузі

Приватне акціонерне товариство «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» (ПрАТ «ЦГЗК») є одним з провідних підприємств гірничо-металургійного комплексу України. Комбінат спеціалізується на видобутку, переробці та виробництві високоякісної сировини для чорної металургії, зокрема залізорудного концентрату та окатишів.

Володіючи повним технологічним циклом, від видобутку руди до випуску готової продукції, ПрАТ «ЦГЗК» забезпечує металургійні заводи підготовленою сировиною. Ця інтегрована модель виробництва обумовлює складну та розгалужену організаційну структуру підприємства.

До основних виробничих потужностей комбінату належать:

Глеюватський та Петровський кар'єри: здійснюють видобуток залізної руди відкритим способом.

Шахта імені Орджонікідзе: забезпечує видобуток руди підземним способом.

Дробильна та збагачувальна фабрики: відповідають за первинну переробку та збагачення сировини.

Фабрика огрудкування: виробляє кінцевий продукт – окатиші.

Управління залізничного транспорту та два гірничотранспортні цехи: забезпечують логістику та транспортування всередині виробничого комплексу.

Загалом до складу підприємства входить 31 структурний підрозділ, що

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 1				Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Божок Н.Ю.									
Перевір.		Тиханський М.П.								10	18
									КНУ ЗАКІТ-22ск		
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.											

свідчить про масштабність його діяльності.

Ефективне функціонування комбінату забезпечується розгалуженою структурою управління, яка включає спеціалізовані дирекції та відділи:

Виробничий блок: Дирекція з виробництва та планування, Дирекція з технології та якості.

Інженерно-технічний блок: Дирекція з інжинірингу, Дирекція з капітального будівництва та капітальних ремонтів.

Фінансово-економічний блок: Фінансова дирекція.

Блок безпеки та ризиків: Дирекція з аналізу та управління ризиками безпеки, Дирекція з охорони праці, промислової безпеки та екології.

Корпоративний блок: Дирекція з персоналу, Дирекція з побуту та соціальних питань, Дирекція із закупівель, Дирекція з операційних поліпшень.

Допоміжні служби: Служба головного фахівця з інформаційних технологій, відділ логістики, канцелярія та спеціальний відділ.

Така структура дозволяє ПрАТ «ЦГЗК» комплексно підходити до вирішення виробничих, технічних, фінансових та соціальних завдань, утримуючи провідні позиції в галузі. ПрАТ «ЦГЗК» показано на (Рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – ПрАТ «ЦГЗК»

Приватне акціонерне товариство «Центральний гірничо-збагачувальний

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

комбінат» (ПрАТ «ЦГЗК») є невід’ємною частиною Групи Метінвест — найбільшої в Україні вертикально інтегрованої гірничо-металургійної холдингової компанії. Інтеграція в єдиний виробничий ланцюг дозволяє Метінвесту контролювати весь процес — від видобутку руди та вугілля до виробництва та збуту готової металопродукції.

Основний напрям діяльності ПрАТ «ЦГЗК» — видобуток і переробка залізних руд з подальшим випуском товарної продукції, що слугує ключовою сировиною для металургійної галузі.

Комбінат спеціалізується на виробництві двох основних видів продукції, які становлять понад 90% від загального обсягу виробництва:

Залізорудний концентрат: високоякісний продукт із вмістом заліза 67,5–70,5%.

Залізорудні окатиші: підготовлена сировина для доменних печей із вмістом заліза 65,0–68,0%.

Окрім основної продукції, незначну частку в структурі доходів займає надання послуг промислового характеру.

Продукція ПрАТ «ЦГЗК» користується попитом як на внутрішньому ринку, так і за його межами. Ключовими міжнародними споживачами є країни Європи та Азії, зокрема: Чехія, Словаччина, Польща, Угорщина, Румунія, Іспанія, Італія, Китай

1.1.2 Умови застосування системи, що проектується

Проектована система автоматичної стабілізації рівня пульпи призначена для впровадження в умовах діючого виробництва ПрАТ «ЦГЗК», зокрема, в цеху зневоднення концентрату на технологічній лінії, оснащений дисковими вакуум-фільтрами КДФ-90.

Виробничий контекст ПрАТ «ЦГЗК» характеризується великотоннажним виробництвом залізрудного концентрату, безперервністю технологічних процесів та високими вимогами до стабільності якісних показників продукції. Ефективність процесу зневоднення на вакуум-фільтрах КДФ-90 безпосередньо

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

впливає на кінцеву вологість концентрату, а також на загальну продуктивність технологічної лінії.

Специфіка функціонування вакуум-фільтра КДФ-90 висуває жорсткі вимоги до стабільності ключових технологічних параметрів, серед яких рівень пульпи у ванні фільтра займає одне з основних місць. Коливання рівня пульпи призводять до:

- нерівномірного формування осаду на фільтрувальних дисках, що спричиняє варіації товщини кеку та, як наслідок, нестабільну вологість концентрату;
- зниження ефективності вакууму через можливе не наповнення секторів дисків або, навпаки, надмірного занурення, що ускладнює віддувку кеку;
- зменшення питомої продуктивності вакуум-фільтра;
- підвищеного зносу керамічних фільтрувальних сегментів та механічних вузлів обладнання.

Умови експлуатації в цеху зневоднення характеризуються наявністю пилу, вологи, вібрації та температурних коливань. Обране обладнання повинно відповідати відповідно до промислового захисту та розраховане на роботу в подібних умовах

1.2 Опис об'єкта керування та аналіз технологічного процесу

1.2.1 Характеристика і структура об'єкта

Об'єктом керування в даній кваліфікаційній роботі – є технологічна установка зневоднення флотаційного концентрату на вакуум-фільтрах КДФ-90, що працює в умовах збагачувальної фабрики ПрАТ «ЦГЗК», зокрема підсистема стабілізації рівня пульпи у ванні фільтра. «ЦГЗК» є частиною гірничо-збагачувального комплексу, який охоплює добування, дроблення, магнітну сепарацію, флотацію, зневоднення та окомкування залізорудної сировини. Зневоднення є допоміжним, але критичним місцем стадії, що

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

забезпечує підготовку концентрату (вміст заліза 68 – 70,5%) до подальшої переробки шляхом видалення надлишкової вологи до рівня 8–12%.

Характеристика об'єкта.

Технологічна установка зневоднення на базі вакуум-фільтра КДФ-90 є сучасним обладнанням, яке характеризується високою продуктивністю (до 90 т/год на кеку). Основний регламентований параметр – рівень пульпи у ванні, який впливає на стабільність фільтрації, продуктивність і вологість кеку. Об'єкт є багатопараметричним із нелінійними характеристиками через взаємозв'язок між рівнем пульпи, витратою пульпи, частотою обертання, вакуумом і іншими збурювальними факторами, а саме: гранулометричним складом, розрідженням пульпи і температурою. Параметри вакуум-фільтра показані в (Таблиці 1.1).

Таблиця 1.1 – Параметри вакуум фільтрів КДФ-90

Найменування параметра	Значення
1. Поверхня фільтрування, м ² , щонайменше	90
2. Діаметр дисків, м, не більше	2,5
3. Кількість, шт.:	
- дисків	15
- секторів в дисках	12
4. Кути зон, град.	
- фільтрування	134
- Просушування	176
5. Глибина вакууму, МПа (кгс/см ²)	
- у зоні фільтрування	0,075÷0,092 (0,75÷0,92)
- у зоні просушування	0,075÷0,092 (0,75÷0,92)
6. Тиск стисненого повітря на керування пневмоклапанами, МПа(кгс/см ²)	0,5÷0,63 (5,0÷6,3)

7. Частота обертання, об/хв: - дисків - мішалки	0,3÷2,5 от 30 до 40
8. Потужність електродвигунів приводів, кВт: - дисків - мішалки - ультразвукового генератора	5,5 9,2 13
9. Робочий тиск, МПа(кгс/см ²) - зворотного промивання - кислотної регенерації	0,15 (1,5) 0,15 (1,5)
10. Ущільнення мішалки: - тиск води, МПа(кгс/см ²) - Витрата води, м ³ /год (л/хв)	0,03÷0,05 (0,3÷0,5) 0,228÷0,84 (3,8÷14,0)
11. Вакуум-насос: - продуктивність, м ³ /хв - Потужність приводу, кВт	6,7 11
12. Насос зворотного промивання: - продуктивність, м ³ /хв - Потужність приводу, кВт	57 11
13. Дозувальний насос кислоти: - продуктивність, л/год - Потужність приводу, кВт	до 120 0,55
14. Габаритні розміри вакуум-фільтра, мм, не більше: - Довжина - ширина - Висота	7900 3350 3345
15. Маса, кг, не більше:	17500

16. Габаритні розміри вузла ресиверів, мм, не більше:	
- Довжина	4830
- Ширина	1240
- Висота	2530
17. Маса вузла ресиверів, кг, не більше:	1230
18. Габаритні розміри вузла контрольної фільтрації, мм, не більше:	
- Довжина	1920
- Ширина	515
- Висота	1200
19. Маса вузла контрольної фільтрації, кг, не більше:	210
20. Габаритні розміри гідрозатвору, мм, не більше:	
- Довжина	1700
- Ширина	1150
- Висота	2569
21. Маса гідрозатвору, кг, не більше:	400

Структура об'єкта.

Як описано в [1] вакуум-фільтр складається, як показано на (Рис. 1.2) з горизонтального обертового валу поз.1 з встановленими на ньому керамічними фільтруючими елементами поз. 2, які утворюють диски, частково занурені у ванну поз. 4 з суспензією, що фільтрується.

Внутрішні порожнини секторів з'єднуються з каналами колекторів поз. 3, закріплених на валу, та відповідними зонами головки розподільчої поз. 5.

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Головка розподільна має кільцевий ряд камер, роз'єднаних одна від одної. Камери пов'язані з комунікаціями вакууму, зворотного промивання та кислотної регенерації.

У нижній частині вакуум-фільтра розміщена роторна мішалка поз. 6, лопатки якої при обертанні перемішують суспензію, що дозволяє підтримувати тверду фазу у зваженому стані. Роторна мішалка приводиться у обертання приводом поз. 7. Для запобігання течі в опорних вузлах мішалки передбачені сальникові ущільнення у поєднанні з гідроущільненнями. Фізичний зміст гідроущільнення полягає у подачі води під натиском через корпус ущільнення в порожнину перед сальником для створення протитиску суспензії у ванні. Цим запобігає попаданню твердої фази суспензії в сальник. Для контролю наявності витрат води в системі гідроущільнення є спеціальний контрольний пристрій на базі електроконтактного витратоміра. Кількість води, що ущільнює, регулюється за допомогою вентиля.

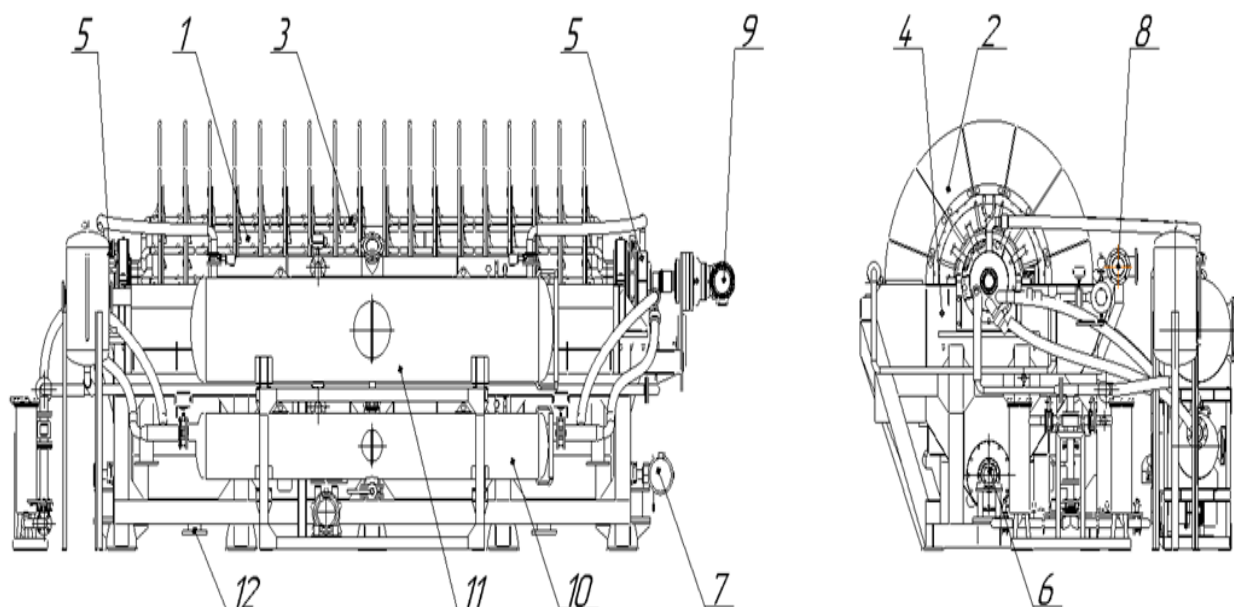


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд вакуум-фільтра

1 – вал дисків; 2 – керамічний сектор; 3 – колектор; 4 – ванна; 5 – головка розподільна; 6 – мішалка; 7 – привід мішалки; 8 – колектор наповнення ванни; 9 – привід валу; 10 - вакуумний ресивер набору осаду; 11 - вакуумний ресивер сушіння; 12 - шиберна засувка з пневмоприводом.

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Подача суспензії у вакуум-фільтр здійснюється через колектор наповнення ванни поз. 8.

Усередині ванни є два переливні отвори, через які відбувається злив зайвої суспензії та підтримується постійний рівень у ванні. При необхідності один із переливних отворів можна заглушити.

Обертання валу з дисками здійснюється електроприводом поз. 9, асинхронний електродвигун якого керується через частотний перетворювач, що дозволяє проводити плавне безступінчасте регулювання обертів дисків.

При обертанні валу всі сектори послідовно взаємодіють з камерами обох розподільчих головок. У зонах фільтрування рідка фаза суспензії (фільтрат) проникає в порожнину секторів, а потім через канали трубчастих колекторів і камери розподільчих головок по трубопроводах (шлангам ПВХ армованим сталевую спіраллю) відводиться у вакуумний ресивер набору осаду поз. 10. Тверда фаза суспензії (кек) затримується на поверхні секторів, утворюючи шар осаду. У зоні сушіння фільтрат, що знаходиться в шарі осаду, під дією сил поверхневого натягу рідини та крайового кута змочування, прагне заповнити всі капіляри та вилитись крізь керамічну перегородку. При цьому капіляри постійно заповнені фільтратом і не пропускають повітря. Для забезпечення безперервного процесу фільтрації порожнини секторів підтримується вакуум, який забезпечує відведення фільтрату через відповідні канали. Наприкінці зони сушіння при встановленому числі обертів дисків осад досягає необхідної вологості.

Для знімання осаду із секторів на фільтрі встановлені ножі (скребки) з кожного боку дисків. Ножі виставляються під необхідним кутом на мінімальній відстані від поверхні секторів і зрізають шар осаду, який вільно падає в простір між кишнями фільтра ванни на конвеєрну стрічку. Яка транспортує концентрат далі, згідно з технологічною картою.

Злив суспензії з ванни виробляється через систему випуску, розташовану в нижній частині ванни. Система випуску складається з двох шибєрних засувок із пневмоприводом поз. 12.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Робота вакуум-фільтра заснована на чотирьох фазах, наступних одна за одною по ходу обертання дисків: утворення кека, зневоднення кека, розвантаження кека та зворотного промивання секторів. Процес утворення кеку показаний на (Рис. 1.3).

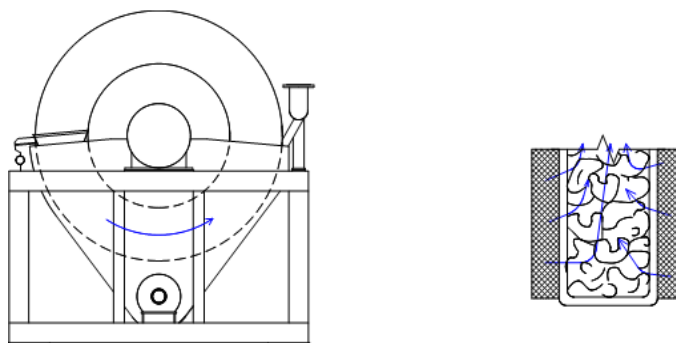


Рисунок 1.3. – Утворення кеку

Коли сектор з мікропористою поверхнею входить у пульпу (суспензію), на цю поверхню діють капілярні сили. Вакуум-насос створює всередині секторів вакуум, який всмоктує рідину через диски у лінію фільтрату. З зовнішнього боку дисків починається швидке утворення кеку, причому ні тверді частинки, ні повітря крізь пори не проходять.

При обертанні дисків дія капілярних сил продовжується безперервно по всій поверхні доти, доки з кека не буде видалена вся вільна рідина. В результаті виходить сухий кек, причому використовується невелика частка енергії для створення вакууму при відведенні фільтрату.

Структурно процес зневоднення кеку показаний на (Рис. 1.4).

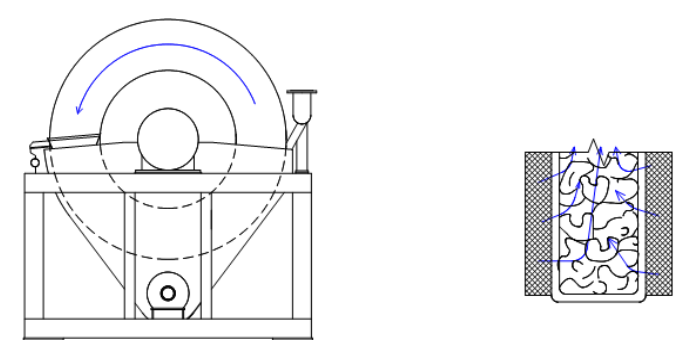


Рисунок 1.4 – Зневоднення кеку

У зоні розвантаження ножі видаляють кек із дисків, залишаючи тонкий шар твердих частинок (підкладку) на поверхні дисків. Цей шар працює як захист проти механічної абразивної дії, знижуючи витрати на техобслуговування та збільшуючи термін служби секторів.

Процес розвантаження кеку показаний на (Рис. 1.5).

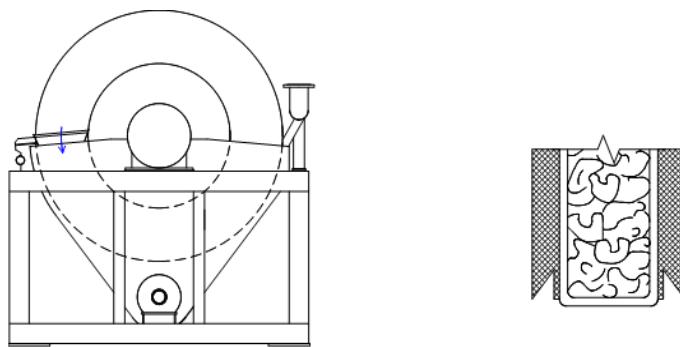


Рисунок 1.5 – Розвантаження кеку

У наступній зоні для промивання дисків з видаленням кеку, що залишився, і очищення мікропористої структури поверхні фільтрування всередину секторів подається фільтрат під тиском, який створюється насосом станції контуром зворотного промивання. Зворотне промивання забезпечує виняткову ефективність фільтрації та тривалий безаварійний термін служби. Система зворотного промивання подає невелику порцію фільтрату назад у сектори, а більшість – відводиться з фільтра. Тиск контролюється автоматично.

1.3 Принципи побудови об'єкту дослідження

Для ефективного проектування системи автоматизації стабілізації рівня пульпи у ванні вакуум-фільтра КДФ-90 необхідно провести детальний аналіз технологічної установки як об'єкта автоматичного керування. Цей аналіз включає ідентифікацію його вхідних та вихідних параметрів, основних збурюючих факторів, а також визначення

ключових показників якості функціонування та вимог до системи керування.

Аналіз вакуум-фільтра КДФ-90 як об'єкта автоматичного керування (в контексті задачі стабілізації рівня пульпи) включає:

1. Вхідні та вихідні параметри.

Основним керуючим впливом на рівень пульпи у ванні є подача пульпи, яка надходить у ванну. Ця подача регулюється шляхом зміни ступеня відкриття регулюючого органу (пробки), яка керується інтелектуальним актуатором Rotork IQ3.

Ключовим параметром, який необхідно стабілізувати є рівень пульпи у ванні вакуум-фільтра. Вимірювання цього параметра здійснюється за допомогою ультразвукового датчика MICROSONIC mic + 130/IU/TC.

Вихідними параметри технологічного процесу, які безпосередньо залежать від стабільності рівня є вологість зневодненого концентрату (кеку), продуктивність вакуум-фільтра, якість фільтрату.

2. Основні збурюючі фактори.

На процес підтримання стабільного рівня пульпи впливає низка зовнішніх та внутрішніх факторів, таких як зміна подачі пульпи, що надходить від попередніх технологічних операцій (наприклад, зі згущувачів) до точки регулювання, зміна густини (концентрації твердої фази) пульпи, зміна гранулометричного складу пульпи, зміни в роботі самого вакуум-фільтра.

3. Динамічні характеристики об'єкта.

Ванна вакуум-фільтра за каналом «подача на вході – рівень» характеризується такими динамічними властивостями, як інерційність, нелінійність, стаціонарність/нестаціонарність.

4. Вимоги до якості керування та ефективності системи.

На основі аналізу об'єкта керування формуються вимоги до проекрованої системи автоматизації, такі, як точність стабілізації

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

рівня, швидкодія, мінімальне перерегулювання, запас стійкості та робастність.

5. Загальнотехнічні та експлуатаційні вимоги.

Система повинна мати високу надійність, точність та стабільність вимірювань, швидкодію роботи виконавчого механізму, простоту налаштування, експлуатації, діагностику, сигналізацію, інтеграційні можливості, безпеку експлуатації, можливість модернізації та розширення.

Ретельний перелік цих характеристик та вимог на етапі проектування є запорукою створення ефективної та надійної системи автоматичного керування рівнем пульпи, що сприятиме покращенню загальних техніко-економічних показників роботи вакуум-фільтрів КДФ-90 та цеху зневоднення в цілому.

1.4 Аналіз існуючих рішень автоматизації технологічного процесу

1.4.1 Аналітичний огляд існуючих способів контролю і процесів керування

Аналіз існуючих рішень в галузі автоматизації процесів зневоднення на вакуум-фільтрах є важливим етапом, що дозволяє виявити переваги та недоліки поширених підходів, а також обґрунтувати необхідність модернізації системи автоматичного керування для конкретного об'єкта.

Керування процесом зневоднення на дискових вакуум-фільтрах, таких як КДФ-90 та аналогічних за конструкцією та призначенням ДОО-100, більш детально описано в [2], пройшло декілька етапів розвитку, від дискретного керування до впровадження сучасних комп'ютерно-інтегрованих систем. Розглянемо основні способи контролю та керування, що зустрічаються на практиці, особливо стосовно ключового параметра – рівня пульпи у ванні фільтра.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Локальні системи автоматичного регулювання з аналоговими або простими дискретними регуляторами.

Використання аналогових датчиків рівня (ультразвукових) та окремих аналогових ПІД-регуляторів «МІК-311» для керування положенням регулюючого клапана. Структурна схема існуючої системи показана в ДОДАТКУ А.

Існуюча система фільтрів КДФ-90 оснащувалась саме такими локальними системами, які, не відповідають сучасним вимогам щодо точності та інтеграції.

Недоліками такої системи є обмежена точність та функціональність регуляторів, складність налаштування та переналаштування, відсутність гнучкості та можливостей адаптації до змінних умов процесу, обмежені можливості діагностики стану обладнання та самої системи автоматики, проблеми з інтеграцією в загальноцехові або загальнокомбінатівські АСУТП через відсутність стандартних цифрових інтерфейсів, а також моральне та фізичне старіння елементної бази, труднощі з ремонтом та заміною компонентів.

2.Сучасні системи на базі програмованих логічних контролерів (ПЛК).

Використання сучасних ПЛК, які отримують дані від точних безперервних датчиків рівня (ультразвукових, радарних, мікрохвильових тощо) та реалізують складні алгоритми керування (найчастіше ПІД-регулювання з можливістю адаптації та автоналаштування) для прецизійного керування виконавчими механізмами (регулюючі клапани з інтелектуальними актуаторами, частотно-регульовані приводи насосів).

Застосовується сучасний стандарт для автоматизації нових та модернізації існуючих установок, включаючи вакуум-фільтри КДФ-90 та ДОО-100. Проектована в даній роботі система відноситься саме до цього типу.

Перевагами є висока точність стабілізації рівня, гнучкість налаштувань алгоритмів керування, можливість реалізації адаптивних та оптимальних стратегій, розширені можливості діагностики стану обладнання та самої

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи, легкість інтеграції з системами вищого рівня (SCADA, MES) по стандартних промислових мережах (Ethernet, Profibus, Profinet), можливість збору, архівування та аналізу даних про перебіг технологічного процесу, висока надійність та стабільність роботи.

Аналіз існуючих способів контролю показує, що хоча для вакуум-фільтрів типу КДФ та ДОО-100 могли застосовуватися різні за рівнем складності та ефективності системи, сучасні вимоги до якості продукції, енергоефективності та надійності обладнання диктують необхідність впровадження саме ПЛК-орієнтованих систем автоматичного керування з використанням точних засобів вимірювання та інтелектуальних виконавчих механізмів. Це обґрунтовує актуальність модернізації системи автоматизації для вакуум-фільтра КДФ-90, як це пропонується в даній роботі.

1.4.2 Обґрунтування необхідності модернізації на основі проведеного аналізу

Проведений у попередньому підрозділі аналіз існуючих способів контролю та керування процесом зневоднення на вакуум-фільтрах, включаючи типові рішення для обладнання типу КДФ-90, чітко вказує на суттєві недоліки застарілих підходів та переваги сучасних автоматизованих систем. Це формує міцне підґрунтя для обґрунтування необхідності розробки та впровадження нової, модернізованої системи автоматизації стабілізації рівня пульпи у ванні вакуум-фільтра КДФ-90 в умовах ПрАТ «ЦГЗК».

Прості дискретні регулятори не здатні забезпечити необхідну точність та стабільність підтримки рівня пульпи. Це призводить до значних коливань рівня, що негативно впливає на рівномірність формування осаду (кеку) на фільтрувальних дисках, нестабільної кінцевої вологості концентрату, що може не відповідати технологічним вимогам, зниження питомої продуктивності вакуум-фільтра через неоптимальне використання його робочої поверхні. Старі системи не надають достатньо інформації про поточний стан процесу та обладнання, ускладнюють аналіз ефективності та своєчасне виявлення

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

неполадок. Це призводить до збільшення часу простоїв та витрат на ремонт. При ручному або дискретному керуванні результати значною мірою залежать від досвіду, уважності та швидкості реакції оператора, що вносить елемент суб'єктивізму та підвищує ризик помилок. Існуючі на деяких підприємствах елементи автоматики, встановлені десятиліття тому, є морально та фізично застарілими, характеризуються низькою надійністю, труднощами в обслуговуванні та відсутністю запасних частин.

ПрАТ «ЦГЗК», як сучасне гірничо-збагачувальне підприємство, прагне до підвищення ефективності виробництва, покращення якості продукції, зниження собівартості та підвищення рівня безпеки. Впровадження проекрованої системи автоматизації на базі ПЛК Siemens S7-1215C, сучасних датчиків рівня MICROSONIC, інтелектуальних актуаторів Rotork IQ3 з керуванням по Profibus та панелі оператора дозволить досягти наступних цілей:

- значного підвищення точності та стабільності підтримки рівня пульпи;
- ефективної компенсації технологічних збурень;
- оптимізації роботи вакуум-фільтрів;
- зниження експлуатаційних витрат;
- підвищення якості кінцевого продукту;
- зменшення впливу людського фактору;
- покращення діагностики та моніторингу;
- інтеграцію в загальну АСУТП підприємства.

Враховуючи вищезазначені недоліки існуючих підходів до керування процесом зневоднення, а також чітко визначені переваги та цілі, які можуть бути досягнуті шляхом модернізації системи автоматичної стабілізації рівня пульпи у ванні, можна зробити висновок, що модернізація є технологічно необхідним та стратегічно важливим кроком. Це дозволить не тільки вирішити поточні проблеми, пов'язані з неефективним керуванням, але й створити основу для подальшої оптимізації технологічного процесу та підвищення загальної конкурентоспроможності підприємства. Модернізація системи керування є інвестицією в підвищення ефективності, якості та надійності виробництва.

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

1.4.3 Формулювання завдань, що підлягають вирішенню під час виконання роботи

Виходячи з проведеного аналізу існуючих рішень автоматизації, їх недоліків та обґрунтування необхідності розробки сучасної системи керування рівнем пульпи у ванні вакуум-фільтра, для досягнення мети даної кваліфікаційної роботи бакалавра необхідно вирішити наступні основні завдання:

1. Провести детальний аналіз технологічного процесу зневоднення концентрату на вакуум-фільтрі КДФ-90 як об'єкта автоматичного керування, уточнити його статичні та динамічні характеристики, вхідні та вихідні параметри, основні збурюючі впливи.

2. Сформулювати деталізовані технічні вимоги до проекрованої системи автоматичної стабілізації рівня пульпи, включаючи вимоги до точності регулювання, швидкодії, надійності та функціональних можливостей.

3. Обґрунтувати вибір комплексу технічних засобів автоматизації, включаючи, а саме:

- датчиків рівня;
- програмованого логічного контролера;
- модулів аналогового вводу/виводу;
- інтелектуальних виконавчих механізмів;
- засобів комунікації (промисловий Ethernet-комутатор та шлюз PROFIBUS);

– панелі оператора;

4. Розробити математичну модель об'єкта керування.

5. Розробити структурну схему.

6. Розробити прикладне програмне забезпечення для ПЛК.

7. Розробити проект візуалізації для панелі оператора.

8. Провести імітаційне моделювання розробленої системи.

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Висновки до розділу:

У даному розділі проведено комплексний аналіз технологічного процесу зневоднення залізорудного концентрату на вакуум-фільтрах КДФ-90 ПрАТ «ЦГЗК» як об'єкта автоматизації, з метою стабілізації рівня пульпи у ванні.

Встановлено, що стабільність рівня пульпи є ключовим фактором, який безпосередньо впливає на ефективність процесу, кінцеву вологість концентрату, продуктивність установки та знос обладнання. Проаналізовано технологічний процес як об'єкт керування: ідентифіковано основний керуючий вплив (подача пульпи), регульовану величину (рівень пульпи) та головні збурюючі фактори (коливання параметрів вхідної пульпи та зміни в роботі самого фільтра).

Визначено, що ванна вакуум-фільтра як об'єкт керування характеризується значною інерційністю, інтегруючими властивостями та нелінійністю, що висуває високі вимоги до синтезу системи автоматичного регулювання.

Проаналізовано існуючі методи контролю, виявлено їх недоліки (низька точність, обмежена функціональність) та обґрунтовано нагальну необхідність розробки нової системи.

На основі проведеного аналізу сформульовано ключові вимоги до якості керування (точність, швидкодія, стійкість), а також загальнотехнічні та експлуатаційні вимоги до системи. Чітко визначено перелік завдань, що підлягають вирішенню в рамках подальшої роботи, які охоплюють усі етапи проектування: від розробки математичної моделі та програмного забезпечення до моделювання та надання рекомендацій щодо впровадження.

Таким чином, у даному розділі закладено необхідну теоретичну та аналітичну основу для розробки сучасної системи автоматичної стабілізації рівня пульпи на вакуум-фільтрах КДФ-90.

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА САК ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ТА ЇЇ ПРОГРАМНО– ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

2.1 Обґрунтування створення системи автоматизації

Необхідність модернізації системи автоматичного керування процесом зневоднення на вакуум-фільтрах КДФ-90 зумовлена значними недоліками існуючої системи та її невідповідністю сучасним технологічним та економічним вимогам.

На сьогоднішній день, регулювання рівня пульпи реалізовано з використанням мікропроцесорного регулятора МІК-311 та виконавчого механізму ГЗ КС 16. Детальний аналіз функціонування цієї системи виявляє низку критичних недоліків, таких як низька точність, недостатня експлуатаційна надійність, обмежена функціональність та інтеграція.

Вищезазначені недоліки не дозволяють досягти максимальної ефективності процесу зневоднення та призводять до збільшення експлуатаційних витрат.

Таким чином, модернізація системи є об'єктивно необхідним та економічно доцільним заходом. Перехід на сучасну елементну базу, зокрема використання програмованого логічного контролера Siemens S7-1215C та інтелектуального актуатора Rotork IQ3 (при збереженні існуючих датчиків рівня Microsonic mic+130/IU/TC), дозволить усунути вказані недоліки, забезпечити високу точність та надійність регулювання, розширити функціональні можливості системи та створити передумови для оптимізації всього технологічного процесу зневоднення.

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Божок Н.Ю.			РОЗДІЛ 2			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Тиханський М.П.								28	38
								КНУ ЗАКІТ-22ск			
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.											

2.1.1 Визначаються вхідні і вихідні параметри

Рівень пульпи у ванні вакуум-фільтра КДФ-90 є основним вхідним параметром об'єкту стабілізації для забезпечення оптимальних умов процесу зневоднення.

В якості датчика обрано ультразвуковий датчик MICROSONIC mic + 130/IU/TC.

Подача пульпи, що надходить у ванну вакуум-фільтра є керуючим вхідним параметром. Змінюючи цей потік, система автоматизації впливає на подачу матеріалу у ванну і, відповідно, на рівень пульпи.

В якості регулюючого органу використовується спеціально розроблена пробка, як встановлена на виході з пульпороздільника, потім пульпа проходить через трубопровод подачі пульпи та надходить у ванну фільтра. Даний тип арматури добре зарекомендував себе при роботі з абразивною пульпою.

Для точного керування положенням пробки застосовується актуатор Rotork IQ3. Цей електропривод забезпечує точне позиціонування, має вбудовані функції самодіагностики та керується по цифровому промисловому протоколу Profibus DP, що дозволяє отримувати зворотний зв'язок про його стан та здійснювати гнучке керування.

Центральним елементом системи автоматизації є програмований логічний контролер (ПЛК) Siemens Simatic S7-1200 CPU 1215C. ПЛК отримує сигнал про поточний рівень від датчика MICROSONIC, обробляє його згідно закладеного алгоритму керування (наприклад, ПД-регулятора) та формує відповідні команди для електроприводу Rotork IQ3 через мережу Profibus DP.

2.1.2 Аналіз режимів функціонування об'єкта управління

Робота вакуум-фільтра КДФ-90 та, відповідно, системи керування рівнем пульпи, передбачає декілька режимів функціонування та характеризується певними обмеженнями. Більш детально описано в [3].

Перед початком робочого циклу ванна фільтра заповнюється пульпою до заданого початкового або робочого рівня. Система керування повинна

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

забезпечити плавне наростання рівня, уникаючи переливу. Цей режим може контролюватися вручну оператором з переходом на автоматичний режим при досягненні певного рівня, або автоматично за спеціальним алгоритмом пуску.

Основним режим є робочий режим, під час якого система автоматизації безперервно підтримує рівень пульпи на заданій технологічній уставці або в межах вузького допустимого діапазону, компенсуючи вплив збурень.

Також під час роботи можуть бути технічні зупинки: планова (для технічного обслуговування) або аварійна (нештатна).

При плановій зупинці подача пульпи припиняється, і рівень поступово знижується в міру того, як залишки пульпи відфільтровуються. Можливе повне спорожнення ванни.

Причини аварійної зупинки.

Перелив пульпи: рівень перевищує максимально допустиму позначку.

Критично низький рівень: рівень падає нижче мінімально допустимої позначки, що може призвести до опустошення дисків та погіршення процесу.

Відмова датчика рівня: недостовірні показання або повна відсутність сигналу.

Відмова виконавчого механізму або регулюючого органу: неможливість зміни потоку пульпи. Система автоматизації повинна мати алгоритми для виявлення таких ситуацій та безпечної реакції (наприклад, сигналізація, перехід на ручне керування, блокування).

Послідовність технологічного процесу.

Подача пульпи у ванну (регулюється САК рівня) та занурення секторів дисків у пульпу.

Фільтроутворення: під дією вакууму на поверхні керамічних дисків утворюється шар осаду (кеку), фільтрат відводиться.

Просушування кеку: сектори виходять з пульпи, вакуум продовжує видаляти вологу.

Зняття кеку: механічне зняття скребками.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Регенерація кераміки (за потреби): стабільний рівень пульпи є критичним для рівномірного проходження фаз фільтроутворення та початкового просушування.

Критичні параметри.

Мінімально допустимий робочий рівень: визначається необхідністю повного занурення активної зони фільтрувальних дисків для запобігання прориву повітря та зниження ефективності вакууму.

Максимально допустимий робочий рівень: обмежений конструкцією ванни для запобігання переливу пульпи. Наприклад, 85-90% від висоти ванни.

Заданий оптимальний рівень: Визначається технологами на основі дослідно-промислових випробувань для досягнення найкращого балансу між продуктивністю та вологістю кеку.

Критичні граничні рівні: значення, при досягненні яких спрацьовує аварійна сигналізація та/або блокування для запобігання серйозним технологічним порушенням чи аваріям.

Система повинна запобігати переливу пульпи, що може створити небезпечні умови для персоналу (слизька підлога, розбризкування).

Передбачення сигналізації (світлової, звукової) при виході рівня за допустимі межі та при відмові обладнання.

Забезпечення можливості безпечної зупинки та переходу на ручне керування.

Умови експлуатації обладнання автоматизації.

Компоненти системи (датчик, ПЛК, привод) повинні мати відповідний ступінь захисту від пилу та вологи (наприклад, IP65 або вище для польового обладнання), характерних для цехів збагачувальних фабрик.

Діапазон робочих температур компонентів повинен відповідати умовам цеху.

Забезпечення електромагнітної сумісності для запобігання впливу промислових завад на роботу електронних пристроїв.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ретельний аналіз цих режимів, операцій та обмежень є необхідною умовою для розробки адекватних алгоритмів керування та забезпечення надійної і безпечної роботи системи автоматизації.

2.2 Математичний опис об'єкту керування

Для проектування та аналізу системи автоматичного регулювання рівня пульпи у вакуум-фільтрі КДФ-90 необхідна його математична модель. Модель описує динаміку зміни рівня пульпи ($H_{\text{факт}}$) під впливом керуючої витрати ($Q_{\text{рег}}$) та основних збурень.

Основні положення та рівняння:

1. *Матеріальний баланс*: в основі моделі лежить рівняння матеріального (об'ємного) балансу для ванни фільтра:

$$A \frac{dH_{\text{факт}}(t)}{dt} = Q_{\text{вх}}(t) - Q_{\text{вих}}(t)$$

де A – площа поперечного перерізу ванни (приймається постійною); $Q_{\text{вх}}(t)$ – сумарна вхідна витрата пульпи; $Q_{\text{вих}}(t)$ – сумарна вихідна витрата (фільтрат та волога з кеком).

2. *Вхідна витрата ($Q_{\text{вх}}$)*: складається з регульованої частини $Q_{\text{рег}}(t)$ (змінюється дією електропривода Rotork IQ3 за сигналом $u(t)$ від ПЛК) та збурюючої частини $Q_{\text{зб.вх}}(t)$ (флуктуації подачі):

$$Q_{\text{вх}}(t) = Q_{\text{рег}}(u(t)) + Q_{\text{зб.вх}}(t).$$

3. *Вихідна витрата ($Q_{\text{вих}}$)*: залежить від багатьох факторів (рівня $H_{\text{факт}}$, вакууму, стану керамічних елементів, властивостей пульпи). Для спрощення, її можна розглядати як функцію, що слабо залежить від рівня в робочому діапазоні (об'єкт близький до інтегруючої ланки). Або функцію, що залежить від рівня (наприклад, $Q_{\text{вих}} \approx K_H \cdot H_{\text{факт}}$), що призводить до властивості

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

самовирівнювання об'єкта. Зміни умов фільтрації, що впливають на $Q_{\text{вих}}$, розглядаються як збурення.

4. *Лінеаризація та передаточна функція:* після лінеаризації диференціального рівняння в діапазоні робочої точки та застосування перетворення Лапласа, об'єкт керування за каналом «регульована витрата – рівень» найчастіше може бути представлений як:

Аперіодична ланка першого порядку:

$$W_o(s) = \frac{\Delta H_{\text{факт}}(s)}{\Delta Q_{\text{рег}}(s)} = \frac{K_o}{T_o s + 1}$$

де K_o – коефіцієнт передачі об'єкта, T_o – стала часу об'єкта. Це характерно для об'єктів із самовирівнюванням.

Або інтегруюча ланка:

$$W_o(s) = \frac{\Delta H_{\text{факт}}(s)}{\Delta Q_{\text{рег}}(s)} = \frac{K_o}{s} \quad (\text{або } \frac{1}{As})$$

Це характерно для об'єктів без самовирівнювання ($K_H \approx 0$).

Параметри моделі: Значення параметрів моделі (A , K_o , T_o) визначаються на основі конструктивних даних фільтра, технологічних параметрів процесу або шляхом ідентифікації за експериментальними даними (наприклад, за кривою розгону).

Розроблена математична модель (у вигляді диференційних рівнянь або передаточних функцій) використовується для аналізу динамічних властивостей вакуум-фільтра як об'єкта керування, синтезу (вибору структури та розрахунку параметрів) ПД-регулятора для системи автоматичного підтримання рівня, моделювання та дослідження роботи замкненої системи автоматизації.

2.3 Моделювання та порівняння з реальними параметрами старої та нової системи керування

Для кількісної оцінки ефективності проекрованої системи автоматичного

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

регулювання рівня пульпи у вакуум-фільтрі КДФ-90 та порівняння її з існуючою системою, доцільно провести математичне моделювання та комп'ютерну симуляцію їх роботи. Метою даного підрозділу є розробка моделей замкнених САР для існуючого та модернізованого варіантів, аналіз їх динамічних характеристик шляхом моделювання в середовищі MATLAB (наприклад, з використанням пакету Simulink), та порівняння отриманих результатів з відомими експлуатаційними даними (для старої системи) або очікуваними показниками (для нової системи).

2.3.1 Моделювання існуючої (старої) системи автоматичного керування рівнем

Існуюча система автоматичного регулювання рівня пульпи, включає ультразвукові датчики рівня Microsonic mic+130/IU/TC, мікропроцесорні регулятори МІК-311 та виконавчі механізми ГЗ КС 16.

Скрипт для моделювання показано в ДОДАТКУ Б.

Результати моделювання показані на ДОДАТКУ В.

2.4 Вибір технічних засобів автоматизації (апаратна реалізація)

Ефективність та надійність проектованої системи керування рівнем пульпи у вакуум-фільтрах КДФ-90 безпосередньо залежить від правильного вибору її апаратних компонентів. Метою даного підрозділу є обґрунтування вибору конкретних технічних засобів автоматизації – від первинних вимірювальних перетворювачів до виконавчих механізмів та засобів людино-машинного інтерфейсу – що забезпечать реалізацію розроблених алгоритмів керування та відповідатимуть вимогам технологічного процесу та умовам експлуатації на ПрАТ «ЦГЗК». Вибір здійснюється на основі комплексного аналізу технічних характеристик, функціональних можливостей, надійності та економічної доцільності.

2.4.1 Датчик рівня

Ключовим елементом проекрованої системи є існуючий ультразвуковий датчик рівня Microsonic mic+130/IU/TC. Рішення про його подальшу експлуатацію в модернізованій системі ґрунтується на наступних аргументах, тому що, ультразвуковий безконтактний метод, реалізований в датчику, добре підходить для роботи з пульпою, забезпечуючи тривалий термін служби завдяки відсутності прямого контакту з агресивним та абразивним середовищем, також датчик забезпечує достатню точність вимірювань, має вбудовану температурну компенсацію та формує стандартизований аналоговий вихідний сигнал (4-20 мА), який легко інтегрується з ПЛК Siemens S7-1200, крім того, використання існуючого датчика дозволяє уникнути значних капітальних витрат на закупівлю та монтаж нових первинних перетворювачів, що здешевлює проект модернізації.

Таким чином, датчик Microsonic mic+130/IU/TC придатний для використання у складі нової системи, оскільки він відповідає технічним вимогам та дозволяє оптимізувати витрати. Перед інтеграцією доцільно провести перевірку його калібрування та технічного стану.

Датчик показано на (Рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Датчик рівня

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

2.4.2 Модуль аналогового вводу/виводу

Для перетворення аналогового сигналу від датчика рівня в цифровий формат, який обробляє центральний процесор, та для забезпечення потенційних додаткових функцій у проекті застосовано сигнальний модуль (SM) SIMATIC S7-1200, SM 1234 Analog input/output, більш детально про цей модуль описано на офіційному сайті Siemens. Даний модуль є комбінованим і містить як аналогові входи (AI), так і аналогові виходи (AQ).

Модуль SM 1234 у стандартному виконанні має 4 аналогові входи та 2 аналогові виходи.

Основна функція модуля в даній системі — це прийом та обробка сигналу від ультразвукового датчика рівня Microsonic mic+130/IU/TC.

Входи модуля конфігуруються для роботи з уніфікованим струмовим сигналом 4-20 мА. Цей стандарт є поширеним у промисловій автоматизації завдяки його високій стійкості до електромагнітних завад та можливості діагностики обриву лінії (струм 4 мА відповідає нижній межі вимірювання, а падіння струму до 0 мА свідчить про несправність).

Модуль виконує аналого-цифрове перетворення (АЦП) вхідного струмового сигналу. Рівень сигналу в діапазоні від 4 до 20 мА перетворюється на відповідне ціле число (для S7-1200 стандартно в діапазоні від 0 до 27648), яке далі обробляється в програмі контролера. Роздільна здатність модуля (12 біт + знак) забезпечує високу точність вимірювання рівня.

Для підключення шести датчиків рівня Microsonic mic+130, кожному з яких потрібен один аналоговий вхід 4-20 мА, одного модуля SM 1234 (який має 4 входи) стає недостатньо. Тому додаю до конфігурації CPU ще один модуль аналогового вводу, це забезпечить 8 аналогових входів, що повністю покриває потребу (5 використовуються, 3 залишаються в резерві).

2.4.3 Контролер SIMATIC S7–1200

Для реалізації розробленої системи автоматизації в якості центрального керуючого пристрою обрано програмований логічний контролер (ПЛК)

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Siemens SIMATIC S7-1200, а саме — модель CPU 1215C. Цей вибір обґрунтований оптимальним поєднанням продуктивності, функціональності та можливостей розширення для вирішення поставленої задачі.

Контролер має такі переваги: модульність, комунікаційні можливості, технологічні функції, інтегроване середовище розробки.

Обрана модель CPU 1215C є однією з найпродуктивніших у лінійці S7-1200, що гарантує достатній запас обчислювальної потужності для одночасної обробки шести контурів ПІД-регулювання та інтенсивного мережевого обміну.



Рисунок 2.2 – Фото контролера SIMATIC S7-1200

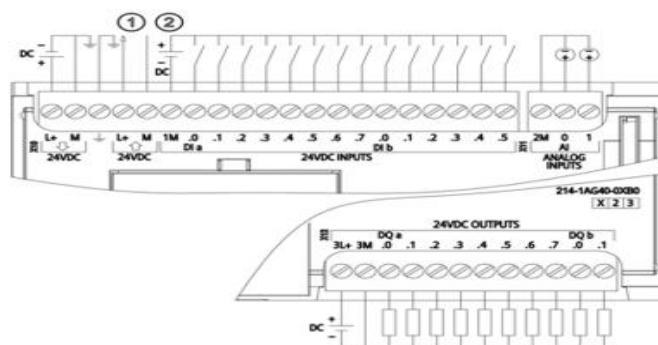


Рисунок 2.3 – Схема підключення контролера

2.4.4 Панель оператора

Для забезпечення взаємодії оперативного персоналу з системою автоматизації, візуалізації технологічного процесу та керування ним, у проекті передбачено використання панелі оператора (HMI — Human-Machine Interface) SIMATIC HMI TP700 Comfort, більш детально на сайті Siemens.

Панелі серії SIMATIC HMI Comfort є високопродуктивними пристроями, призначеними для вирішення складних завдань візуалізації та керування. Панель оснащена широкоформатним 7-дюймовим сенсорним TFT-дисплеєм з високою роздільною здатністю та підтримкою 16 мільйонів кольорів, підтримує можливість записувати та зберігати історію технологічних параметрів (рівнів, уставок, положення приводів) та аварійних повідомлень на зовнішній носій (наприклад, SD-карту або USB-накопичувач), можливість реалізації додаткової логіки та нестандартних функцій безпосередньо на панелі за допомогою VB-скриптів, панель має вбудований інтерфейс Profinet, що забезпечує швидкісний та надійний обмін даними з контролером S7-1200 по мережі Ethernet.

Таким чином, панель TP700 Comfort надає необхідний рівень продуктивності, якості візуалізації та функціональних можливостей для ефективного моніторингу та керування комплексною системою стабілізації рівня для шести вакуум-фільтрів.

2.4.5 Комутаційний модуль

Для фізичного об'єднання всіх пристроїв, що працюють за протоколом Profinet, в єдину локальну мережу та забезпечення надійного обміну даними, в системі використовується промисловий комутатор Ethernet (Industrial Ethernet Switch).

Хоча CPU S7-1215C має два вбудовані порти, що дозволяє створювати просту лінійну топологію, застосування окремого комутаційного модуля для побудови топології «зірка» є кращою інженерною практикою для промислових систем. Комунікаційний модель забезпечує підвищену надійність, гнучкість, масштабованість, зручність діагностики та обслуговування.

Для даного проекту використано некерований промисловий комутатора з лінійки Siemens SCALANCE X, а саме, модель SCALANCE XB005.

Комутатор призначений для експлуатації у важких промислових умовах, має міцний корпус, передбачає монтаж на стандартну DIN-рейку в шафі керування та живиться від джерела постійного струму 24 В.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модель XB005 має 5 портів RJ45 зі швидкістю 10/100 Мбіт/с, що є достатнім для підключення CPU S7-1215C, панелі оператора TP700 Comfort, шлюзу IE/PB Link та залишає вільні порти для програматора та резерву.

Таким чином, застосування промислового комутатора SCALANCE XB005 дозволяє створити надійний, структурований та гнучкий фізичний рівень мережі Profinet, що є фундаментом для стабільної роботи всієї системи автоматизації.

2.4.6 Модуль профібас

Для інтеграції актуаторів Rotork IQ3, що працюють за протоколом Profibus DP, в єдину систему керування на базі контролера SIMATIC S7-1200 (який має лише інтерфейс Profinet), застосовується спеціалізований мережевий шлюз (gateway). У даному проекті в якості такого шлюзу виступає пристрій Siemens IE/PB Link PN IO.

Цей компонент не є модулем розширення самого контролера, а є незалежним інтелектуальним пристроєм, що виконує функцію моста між двома різними промисловими мережами.

Для контролера S7-1215C шлюз IE/PB Link є звичайним Profinet IO-Device (підпорядкованим пристроєм). Контролер обмінюється з ним даними так само, як і з будь-яким іншим модулем розподіленого вводу-виводу.

Для шести приводів Rotork IQ3 шлюз IE/PB Link виступає як повноцінний Profibus DP-Master (ведучий пристрій). Він самостійно опитує всі підключені до нього приводи (DP-Slaves), збирає від них дані про стан та передає їм команди керування.

Таким чином, шлюз IE/PB Link PN IO забезпечує прозору передачу даних між двома мережами. Керуючі команди та уставки від ПЛК, відправлені по Profinet, транслюються шлюзом у відповідні команди Profibus для приводів. І навпаки, дані про поточне положення, стан та діагностику від приводів збираються по Profibus і передаються в контролер по Profinet.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання даного шлюзу є стандартним інженерним рішенням, що дозволяє поєднувати сучасні контролери на базі Profinet з периферійним або спеціалізованим обладнанням, що має інтерфейс Profibus DP.

2.4.7 Виконуючий механізм

В якості виконавчого механізму, що безпосередньо здійснює регулювання потоку пульпи шляхом зміни положення регулюючого клапана (пробки), у проекті використано інтелектуальний електропривод Rotork IQ3. В системі використовується шість таких приводів для керування шістьма відповідними контурами регулювання рівня.

Електропривод Rotork IQ3 є мікропроцесорним пристроєм з розширеними можливостями. Він має вбудований позиціонер, що дозволяє йому з високою точністю відпрацьовувати задане значення положення, отримане по цифровій мережі. Крім того, привод здійснює постійну самодіагностику, збирає та зберігає дані про свою роботу (кількість спрацювань, профілі моменту на валу, помилки), що є основою для реалізації стратегій предиктивного обслуговування.

Актuator має цифровий інтерфейс Profibus DP. Це визначальна перевага даного актуатора в рамках проекту. На відміну від аналогового керування (4-20 мА), цифровий протокол дозволяє не лише надсилати команду на зміну положення, але й отримувати від привода великий обсяг зворотної інформації, а саме: точне поточне положення, слово стану, попереджувальні та аварійні сигнали, діагностичні коди. Передача даних у цифровому форматі виключає похибки, пов'язані з перетворенням сигналів та впливом електромагнітних завад на аналогові лінії зв'язку.

Усі шість приводів підключаються до єдиного кабелю Profibus, що значно скорочує обсяг та вартість монтажних робіт у порівнянні з прокладанням індивідуальних сигнальних кабелів до кожного привода.

Приводи Rotork IQ3 розроблені для експлуатації у важких промислових умовах. Вони мають герметичний, вибухозахищений корпус з високим

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ступенем захисту (IP68), що гарантує надійну роботу в умовах підвищеної вологості та запиленості збагачувальної фабрики. Безконтактна система визначення положення та наявності ручного дублера підвищують загальну надійність вузла.

Таким чином, інтелектуальний актуатор Rotork IQ3 є повноцінним інтелектуальним виконавчим пристроєм. Його функціональні можливості повністю відповідають сучасній концепції побудови цифрових, діагностичних та надійних систем автоматичного керування.

Виконуючий механізм показано на (Рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Виконуючий механізм Rotork IQ3

2.5 Розробка структурної схеми

Структурна схема системи автоматичного керування (САК) рівнем пульпи у ванні вакуум-фільтра КДФ-90 наочно відображає всі основні функціональні компоненти системи, їх взаємозв'язки та потоки інформації. Вона є основою для розуміння логіки роботи системи та подальшої розробки програмного забезпечення і монтажу обладнання.

2.5.1 Визначаються вхідні і вихідні параметри об'єкту управління, їх фізична природа, кількість та діапазони.

Для розробки структурної схеми автоматизації необхідно чітко визначити інформаційні потоки між системою керування та технологічним процесом.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Оскільки система керує шістьма ідентичними об'єктами, параметри є типовими для кожного з шести контурів регулювання.

1. Вхідні параметри (сигнали, що надходять до системи керування).

Рівень пульпи у ванні вакуум-фільтра, аналоговий сигнал з діапазоном 4–20 мА, що відповідає фізичному діапазону вимірювання датчика (0–1300 мм). Загальна кількість сигналів 5, по одному від кожного датчика рівня Microsonic.

2. Завдання та команди оператора.

Уставка рівня, вибір режиму (Автоматичний/Ручний), команди ручного керування. Використовуються цифрові дані, що вводяться з панелі оператора, в кількості шести комплектів параметрів.

3. Вихідні параметри.

Керуючий вплив, параметр, який подає команду на зміну положення регулюючого клапана. Це цифровий пакет даних, що передається по мережі Profibus DP та містить керуюче слово та задане значення положення. Загальна кількість шість сигналів, для кожного привода Rotork IQ3.

4. Сигнали для візуалізації.

Поточний рівень, положення приводу, стан системи, аварійні повідомлення. Цифрові дані, що передаються на НМІ по мережі Profinet.

5. Основний збурюючий вплив.

Подача пульпи, що відбирається фільтром. Неконтрольована зміна технологічного параметра, що залежить від швидкості фільтра, вакууму та властивостей концентрату.

2.5.2 Обґрунтування та розробка структурної схеми

На основі аналізу та обраних технічних засобів розроблено централізовану структурну схему системи автоматизації.

Централізована структура на базі одного ПЛК S7-1215C є економічно доцільною та функціонально ефективною для керування шістьма однотипними контурами. Вона забезпечує централізований моніторинг, діагностику, просту реалізацію алгоритмів та можливість майбутнього розширення.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Структурна схема системи автоматизації включає наступні функціональні блоки та зв'язки:

1. Нижній (польовий) рівень:

Шість датчиків рівня (Microsonic), які вимірюють поточний рівень у ваннах і передають аналогові сигнали 4–20 мА.

Шість електроприводів (Rotork IQ3), які керують положенням регулюючих клапанів і підключені до єдиного сегмента мережі Profibus DP.

2. Середній (контролерний) рівень:

Сигнальні модулі S7-1200 (SM 1234) приймають аналогові сигнали від давачів та перетворюють їх у цифровий формат.

ПЛК SIMATIC S7-1215C збирає дані, реалізує шість незалежних алгоритмів ПД-регулювання і формує керуючі команди.

Шлюз IE/PB Link PN IO виступає мостом між мережами: як Profinet IO-Device він підключений до ПЛК, а як Profibus DP-Master — керує приводами Rotork.

3. Верхній (людино-машинний) рівень:

Панель оператора HMI TP700 Comfort підключена до ПЛК по мережі Profinet. Вона забезпечує візуалізацію всіх шести контурів, дозволяє оператору вводити уставки та контролювати роботу системи.

Промисловий комутатор (SCALANCE XB005) об'єднує ПЛК, HMI та шлюз в єдину мережу Profinet.

Структурна схема показана в ДОДАТКУ Г.

2.6 Розробка програмного забезпечення

2.6.1 Опис призначення й галузі застосування програми

Розроблене програмне забезпечення є комплексним проектом в середовищі TIA Portal, що складається з прикладної програми для ПЛК та проекту візуалізації для HMI.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Автоматична стабілізація рівня пульпи в ваннах шести дискових вакуум-фільтрів шляхом реалізації незалежних контурів регулювання.

Забезпечення людино-машинного інтерфейсу для візуалізації технологічного процесу, надання оператору можливості керувати уставками та режимами роботи, а також здійснення сигналізації про аварійні ситуації та діагностики стану обладнання.

Програмне забезпечення призначене для використання в системах АСУТП гірничо-збагачувальної промисловості, а саме — на дільницях зневоднення залізорудного концентрату, де застосовуються дискові вакуум-фільтри.

2.6.2 Обґрунтування технічних характеристик програми

Технічні характеристики та архітектура програмного забезпечення були обрані з урахуванням вимог до надійності, масштабованості та простоти обслуговування системи.

Обрано модульну архітектуру з використанням функціональних блоків (FB). Для керування одним вакуум-фільтром створено єдиний FB, який потім багаторазово викликається в програмі (створюється шість його екземплярів). Такий підхід забезпечує легку читабельність коду, спрощує налагодження та дозволяє легко масштабувати систему в майбутньому.

Для реалізації логіки використано стандартні мови програмування згідно МЕК 61131-3: LAD (Ladder Diagram) та FBD (Function Block Diagram). Ці мови є промисловим стандартом, візуально інтуїтивні та добре зрозумілі для інженерного та обслуговуючого персоналу.

В основі системи лежить пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання. Його реалізовано за допомогою вбудованого технологічного об'єкта контролера S7-1200 PID_Compact. Цей вибір обґрунтований тим, що ПІД-регулювання є класичним та найбільш ефективним методом для керування інерційними та астатичними об'єктами, яким є рівень

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

рідини в ємності. Використання стандартного блоку гарантує надійність та доступ до вбудованих інструментів автоналаштування.

Проект візуалізації побудований на принципах інтуїтивності та функціональності. Використання шаблонів (Faceplates) для однакових об'єктів керування стандартизує інтерфейс оператора та прискорює розробку. Система передбачає наявність оглядового екрана для всіх шести фільтрів та окремих деталізованих екранів для кожного контуру регулювання.

2.6.3 Опис розробленої програми

Розроблене програмне забезпечення є єдиним інтегрованим проектом у середовищі TIA Portal, що включає програму для ПЛК та проект візуалізації для НМІ. Архітектура програми побудована за модульним принципом для забезпечення надійності, читабельності та простоти подальшого обслуговування.

1. Програмне забезпечення для ПЛК SIMATIC S7-1215C

Програма контролера має структурований вигляд та складається з наступних ключових компонентів:

Організаційні блоки (ОВ).

OB1 (Main): головний блок, що виконується циклічно. В ньому реалізовано виклик шести екземплярів функціонального блоку керування рівнем — по одному для кожного вакуум-фільтра.

OB100 (Startup): блок стартового запуску, що виконується один раз при переході ПЛК в режим RUN. В ньому здійснюється початкова ініціалізація змінних та встановлення початкових режимів роботи.

Функціональний блок (FB1) «LevelControl».

Для реалізації принципу багаторазового використання коду було створено єдиний функціональний блок, що інкапсулює всю логіку керування одним контуром регулювання. В середині блоку реалізовано зчитування сирого значення аналогового сигналу з відповідного каналів модуля SM 1234, масштабування сигналу за допомогою стандартних інструкцій NORM_X та

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

SCALE_X для переведення його у фізичні одиниці (відсотки). Виклик технологічного об'єкта PID_Compact, на входи якого подаються масштабоване поточне значення та уставка рівня. Обробка вихідного сигналу ПІД-регулятора та формування з нього керуючого слова та завдання для передачі на привод Rotork IQ3 через мережу Profibus DP. Зчитування слова стану від привода для моніторингу його роботи та діагностики.

Блоки даних (DB).

Для кожного з шести викликів блоку FB1 «LevelControl» автоматично створено окремий екземплярний блок даних (DB). У цих блоках зберігаються унікальні для кожного контуру дані: стан ПІД-регулятора, проміжні змінні, поточні значення тощо.

Створено глобальний блок даних (Global DB) для зберігання загальних для всієї системи параметрів та уставок, до яких організовано зручний доступ з боку HMI.

2. Проект візуалізації для HMI TP700 Comfort.

Проект для панелі оператора розроблено з метою забезпечення інтуїтивно зрозумілого та ефективного керування і моніторингу.

Головний оглядовий екран містить мнемосхему шести вакуум-фільтрів. Для кожного фільтра відображається його поточний рівень. Цей екран дозволяє оператору швидко оцінити стан всієї дільниці.

Навігація на цей екран здійснюється з головного екрана шляхом вибору конкретного фільтра. Тут представлена розширена інформація по одному контуру: графік зміни рівня (тренд), панель для зміни уставки та режиму роботи, детальний стан виконавчого механізму та доступ до налаштувань ПІД-регулятора (захищений паролем).

Також відображається список активних та квітованих аварійних повідомлень системи.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

2.7 Конфігурування програмованого логічного контролера

2.7.1 Створення проекту та конфігурація апаратного забезпечення

До проекту додається CPU 1215C DC/DC/DC. Налаштовується його Ethernet-адреса (IP-адреса) для комунікації по Profinet.

1. Додавання сигнальних модулів (SM).

SM 1234 (Analog Input/Output): модуль додається до конфігурації CPU. Один з аналогових входів (наприклад, AI0) конфігурується для прийому сигналу струму 4-20 мА від датчика рівня Microsonic mic+130/IU/TC. Задаються відповідні діапазони вимірювання. Аналогічним чином додається другий модуль SM 1234.

До проекту додається панель оператора TP700 Comfort. Налаштовується її зв'язок з CPU S7-1215C по Profinet.

Додавання шлюзу IE/PB Link PN IO: цей пристрій додається до мережі Profinet як IO-Device. Він слугуватиме мостом між мережею Profinet контролера S7-1215C та мережею Profibus DP, до якої буде підключено привод Rotork IQ3.

2. Конфігурування мереж Profinet.

Мережа Profinet IO використовується для високошвидкісного обміну даними між контролером S7-1215C, панеллю оператора TP700 Comfort та шлюзом IE/PB Link PN IO.

CPU S7-1215C автоматично функціонує як Profinet IO-Controller (ведучий пристрій у мережі Profinet).

Панель оператора TP700 Comfort та шлюз IE/PB Link PN IO додаються до проекту як Profinet IO-Devices (ведомі пристрої).

У графічному редакторі мереж TIA Portal (Network view) встановлюються логічні зв'язки між IO-Controller та IO-Devices шляхом їх підключення до спільної мережі Ethernet (Profinet). Фізична топологія залежить від реального підключення кабелів та використання комутаторів (switches).

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожному пристрою в мережі Profinet (CPU S7-1215C, TP700 Comfort, Profinet-інтерфейс шлюзу IE/PB Link PN IO) призначається унікальна IP-адреса в межах однієї підмережі. А саме:

CPU S7-1215C: 192.168.0.1.

TP700 Comfort: 192.168.0.2.

IE/PB Link PN IO: 192.168.0.3.

SCALANCE XB005: 192.168.0.4.

Для всіх пристроїв встановлюється однакова маска підмережі 255.255.255.0.

Кожному Profinet IO-Device (TP700 Comfort, SCALANCE XB005, IE/PB Link PN IO) присвоюється унікальне ім'я пристрою Profinet. Це ім'я використовується IO-Controller для ідентифікації пристроїв у мережі, незалежно від їх IP-адреси (хоча IP-адреса також є обов'язковою). Наприклад, «TP700_Comfort_LevelControl» та «IE_PB_Link_Rotork». Ці імена завантажуються в пристрої.

3. Конфігурування обміну даними для IO-Devices.

TP700 Comfort: обмін даними з панеллю переважно відбувається через інтегроване HMI-з'єднання, яке налаштовується при створенні зв'язку між ПЛК та панеллю. Спеціальні області вводу-виводу Profinet для панелі зазвичай не конфігуруються вручну для стандартного обміну тегами.

IE/PB Link PN IO: у конфігурації цього шлюзу як Profinet IO-Device визначаються області даних (модулі вводу-виводу), через які буде здійснюватися обмін даними між CPU S7-1215C та сегментом Profibus DP. Це, по суті, «буфер», через яке контролер S7-1215C бачить дані з Profibus і надсилає дані в Profibus. Розмір та структура цих областей (наприклад, кількість байт вводу та виводу) повинні відповідати сумарному обсягу даних, яким планується обмінюватися з усіма пристроями на підпорядкованій шині Profibus DP. Наприклад, може бути сконфігуровано 32 байти вхідних даних та 32 байти вихідних даних.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Для кожного Profinet IO-Device можна налаштувати час оновлення даних (update time), тобто як часто IO-Controller буде опитувати/надсилати дані. Для більшості додатків зі шлюзами та панелями стандартні значення (кілька мілісекунд) є прийнятними.

4. Конфігурування мережі Profibus DP (через шлюз IE/PB Link PN IO).

Шлюз IE/PB Link PN IO виступає як ведучий пристрій (DP Master) у сегменті мережі Profibus DP, до якого підключається привод Rotork IQ3 як підпорядкований пристрій (DP Slave).

У властивостях пристрою IE/PB Link PN IO в TIA Portal необхідно активувати його Profibus-інтерфейс та налаштувати його на роботу в режимі «DP master».

Обирається швидкість передачі даних для сегмента Profibus (наприклад, 1.5 Мбіт/с, 3 Мбіт/с, 6 Мбіт/с, 12 Мбіт/с). Ця швидкість повинна підтримуватися всіма пристроями в даному сегменті Profibus (включаючи Rotork IQ3) і бути однаковою для всіх.

Зазвичай використовується стандартний профіль DP (або DP-V0/V1).

Перед додаванням привода Rotork IQ3 до мережі Profibus DP, необхідно імпортувати його GSD-файл (General Station Description) до каталогу апаратного забезпечення TIA Portal. GSD-файл надається виробником привода (Rotork) і містить опис комунікаційних можливостей привода, його модулів даних, параметрів тощо. Це робиться через меню «Options» -> «Manage general station description files (GSD)». Як показано на (Рис. 2.6).

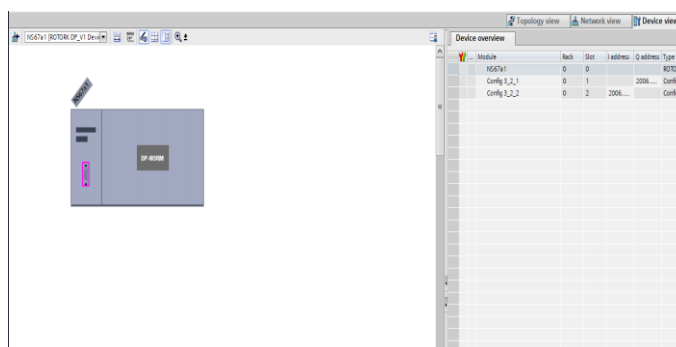


Рисунок 2.6 – Приклад конфігурації GSD-файлу

Після імпорту GSD-файлу, актуатор Rotork IQ3 з'явиться у каталозі апаратного забезпечення (Hardware catalog), у розділі «Profibus DP» -> «Other field devices». Звідти його можна перетягнути на лінію Profibus DP, підключену до IE/PB Link.

Кожному DP Slave в мережі присвоюється унікальна адреса Profibus (ціле число від 1 до 125; адреси 0, 126, 127 зарезервовані). Наприклад, приводу Rotork IQ3 може бути присвоєна адреса «3». Ця ж адреса повинна бути фізично встановлена на самому приводі (програмно через інструмент налаштування привода).

Відповідно до GSD-файлу, для актуатора Rotork IQ3 в TIA Portal буде запропоновано набір доступних модулів (або слотів) для обміну даними. Ці модулі визначають, які дані та в якому форматі будуть передаватися між DP Master (IE/PB Link) та DP Slave (Rotork IQ3).

Модуль для передачі керуючого слова та завдання (наприклад, завдання положення або швидкості) від ПЛК до привода.

Модуль для отримання слова стану та поточного значення (наприклад, поточне положення або швидкість) від привода до ПЛК.

Модулі для передачі/отримання додаткових параметрів, діагностичної інформації.

Користувач вибирає необхідні модулі та вставляє їх у відповідні слоти конфігурації DP Slave (Rotork IQ3). Кожен модуль займає певну кількість байт в адресній області вводу (PI – Process Image Input) та/або виводу (PQ – Process Image Output) контролера.

Сукупність цих даних (входи/виходи для Rotork IQ3 на шині Profibus) автоматично відображається на відповідні області даних шлюзу IE/PB Link на стороні Profinet, звідки до них може звертатися програма в CPU S7-1215C.

Деякі GSD-файли дозволяють конфігурувати специфічні параметри DP Slave безпосередньо в TIA Portal (у вікні властивостей пристрою, вкладка «Slave

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

parameters»)). Це можуть бути, наприклад, одиниці вимірювання, налаштування реакції на помилки тощо.

Після налаштування всіх пристроїв та мережевих з'єднань необхідно скомпілювати апаратну конфігурацію проекту («Compile» -> «Hardware (rebuild all)»). Компіляція перевіряє конфігурацію на наявність помилок та генерує дані, необхідні для завантаження в контролер та інші пристрої, а потім зберегти. Структурна схема модулів Profibus показана на (Рис. 2.7).

IP-адреси та адреси Profibus, налаштовані в TIA Portal, повинні точно відповідати адресам, встановленим на фізичних пристроях.

Фізичне підключення кабелів Ethernet та Profibus повинно відповідати сконфігурованій топології. Для Profibus DP важливо використовувати спеціалізований кабель та термінатори на кінцях сегмента.

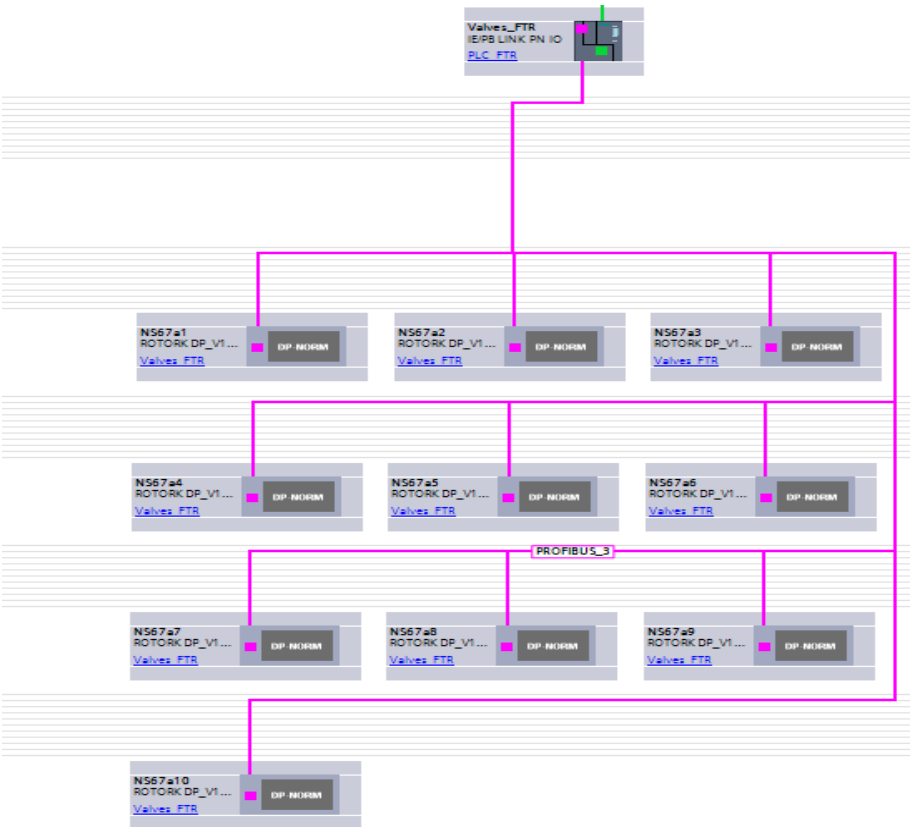


Рисунок 2.7 – Структура мережі Profibus

У контролері S7-1215C створюються необхідні теги (змінні) для представлення всіх сигналів та даних процесу:

Тег для сирого значення аналогового входу від датчика рівня.

Тег для масштабованого значення рівня в інженерних одиницях (наприклад, Level_Process_Value_mm або Level_Process_Value_Percent).

Тег для заданого значення рівня (уставки PID-регулятора), яке може надходити з HMI (наприклад, Level_Setpoint).

Теги для параметрів PID-регулятора (коефіцієнти P, I, D, час циклу тощо).

Тег для вихідного сигналу PID-регулятора (наприклад, PID_Output).

Теги для обміну даними з приводом Rotork IQ3 через Profibus (наприклад, Rotork_Control_Word, Rotork_Setpoint_Value, Rotork_Status_Word, Rotork_Actual_Value).

Рекомендується використовувати символічні імена тегів та структурувати їх у таблицях тегів (PLC tag tables) для кращої організації.

5. Програмування логіки контролера.

Зчитування сирого значення з каналу модуля SM 1234, до якого підключений датчик Microsonic.

Масштабування сирого значення (в діапазоні 0-27648) до фізичного діапазону вимірювання рівня давача (0-100%). Для цього використовуються стандартні інструкції NORM_X (нормалізація) та SCALE_X (масштабування).

Для S7-1200 використовується технологічний об'єкт PID_Compact. Цей об'єкт додається до програми (наприклад, в організаційному блоці OB1 або в циклічному OB).

Створюється екземплярний блок даних (instance DB) для PID_Compact.

Конфігуруються входи та виходи PID_Compact:

Setpoint: пов'язується з тегом заданого значення рівня (Level_Setpoint).

Input: пов'язується з тегом масштабованого значення рівня (Level_Process_Value_mm).

Output: вихідний керуючий сигнал регулятора, який буде оброблено та передано на привод Rotork.

Налаштовуються параметри ПІД-регулятора (пропорційний, інтегральний, диференціальний коефіцієнти, межі вихідного сигналу, режим

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи – автоматичний/ручний). Передбачається можливість їх налаштування (тюнінгу) під час пусконаладжувальних робіт. Як показано на (Рис. 2.8).

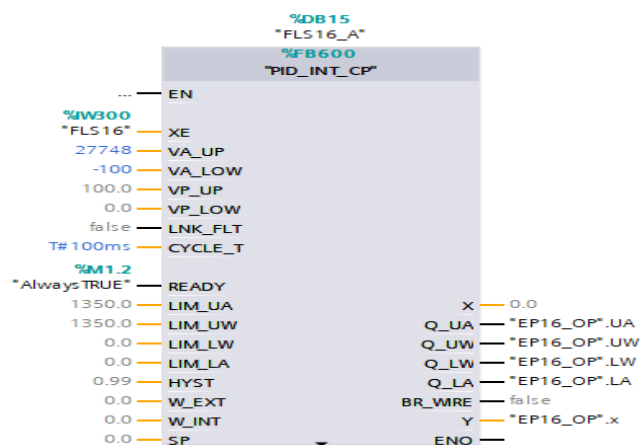


Рисунок 2.8 – Приклад блоку ПІД-регулятора

Вихідний сигнал PID_Conract (наприклад, 0-100%) необхідно перетворити у формат, зрозумілий для привода Rotork IQ3 через Profibus. Це може бути значення положення (0-100%) або швидкість, залежно від режиму керування приводом.

▼ Block title: ROTORK regulating valve	
► Блок управління регулируемой задвижкой с приводом ROTORK IQ по Profibus DP,...	
► Network 1:	CMD from HMI
► Network 2:	CMD from HMI 2
► Network 3:	Auto Mode activation (switching off Manual) by external signal
► Network 4:	Fault acknowledgement by external signal
► Network 5:	Read ROTORK Status via Profibus
► Network 6:	Simulation mode
► Network 7:	Start cond.
► Network 8:	Run cond.
► Network 9:	Run cond.2
► Network 10:	Stop cond.
► Network 11:	Interlock active
► Network 12:	Remote mode selected
► Network 13:	Local mode selected
► Network 14:	Auto mode selected
► Network 15:	Manual mode selected
► Network 16:	Locked
► Network 17:	Start dir 1
► Network 18:	Start dir 2
► Network 19:	Start go to set position
► Network 20:	Stop general
► Network 21:	CMD: STOP
► Network 22:	On dir 1
► Network 23:	On dir 2
► Network 24:	Выбор задания положения задвижки
► Network 25:	Go to set position
► Network 26:	Status for HMI LS DIR1

Рисунок 2.9 – Блок обробки сигналів gsd-файлу

Це перетворене значення записується у відповідні вихідні байти/слова, що відображаються на Profibus-модулі привода Rotork IQ3 в конфігурації IE/PB Link. Блок обробки сигналів gsd-файлу показаний на (Рис. 2.9).

Зчитуються дані про поточний стан, положення/швидкість та можливі помилки привода з відповідних вхідних байт/слів Profibus.

Ця інформація може використовуватися для логіки керування, діагностики та відображення на HMI.

6. Розробка проекту для панелі оператора (HMI TP700 Comfort).

Перевіряється та налаштовується з'єднання між HMI та CPU S7-1215C.

Створення екранів (Screens).

Головний екран: відображення поточного рівня, заданого значення, вихідного сигналу ПД-регулятора, стану привода Rotork.

Екран налаштувань ПД: можливість (з відповідним рівнем доступу) змінювати уставку, перемикає режими роботи (авто/ручний), коригувати коефіцієнти ПД-регулятора.

Екран стану привода: детальна інформація про стан привода Rotork IQ3 (положення, помилки, попередження).

Екран тривоги (Alarms): відображення активних та історичних тривог системи (наприклад, відхилення рівня від уставки, помилки давача, помилки привода).

Екран трендів (Trends): графічне відображення зміни рівня, уставки та вихідного сигналу регулятора в часі.

Прив'язка елементів HMI до тегів ПЛК: графічні елементи на екранах (поля вводу-виводу, кнопки, індикатори, графіки) прив'язуються до відповідних тегів в CPU S7-1215C.

7. Тестування та налагодження.

Використання PLCSIM для симуляції роботи програми контролера та HMI WinCC Runtime для симуляції роботи панелі оператора перед завантаженням на реальне обладнання.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка коректності зчитування аналогового сигналу, масштабування, роботи дискретних входів/виходів, зв'язку з приводом Rotork IQ3 (перевірка обміну даними через Profibus), функціонування ПІД-регулятора (початкове налаштування та подальший тюнінг коефіцієнтів), коректності відображення та керування з НМІ.

Налаштування коефіцієнтів ПІД-регулятора для досягнення бажаної якості перехідного процесу (швидкодія, перерегулювання, статична помилка). TIA Portal надає інструменти для автоматичного тюнінгу (PID self-tuner) або ручного налаштування PID_Compact.

В якості середовища для розробки, я використовую «Tia Portal V16» який дозволяє зручно конфігурувати як сам контролер так і інші пристрої, які входять до даної системи.

2.8 Розробка програмного забезпечення для SCADA системи

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition — диспетчерське керування та збір даних) є системою програмно-апаратних засобів, призначених для контролю та керування технологічними процесами в реальному часі на рівні всього підприємства або його значної частини. На відміну від локальної панелі оператора (HMI), SCADA-система встановлюється на персональному комп'ютері (ПК) в операторській чи диспетчерській, має значно ширші можливості з архівації, обробки даних, генерації звітів та інтеграції з іншими системами.

Для даного проекту в якості SCADA-системи обрано програмний пакет Siemens SIMATIC WinCC Professional, оскільки він повністю інтегрується в середовище розробки TIA Portal і забезпечує безшовний зв'язок з контролером S7-1200.

Крок 1: Інтеграція SCADA-станції в проект TIA Portal.

Першим кроком є додавання комп'ютерної станції, на якій буде виконуватися SCADA-система, до існуючого проекту.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У дереві проекту TIA Portal обираю пункт «Add new device» (Додати новий пристрій).

У каталозі обираю розділ PC systems -> SIMATIC HMI application -> WinCC RT Professional.

Після додавання станції до проекту, в її конфігурації додається мережева карта для зв'язку по Profinet.

У редакторі мереж («Network view») встановлюється логічний зв'язок між SCADA-станцією та контролером PLC_1 по мережі Profinet. Завдяки інтеграції в TIA Portal, система автоматично отримує доступ до всієї бази тегів контролера.

Крок 2: Розробка графічного інтерфейсу (мнемосхем).

Це основний етап, на якому створюється візуальне представлення технологічного процесу для диспетчера.

Розробляється головний екран, що відображає всю ділянку зневоднення. На ньому схематично зображені всі шість вакуум-фільтрів.

Для кожного фільтра розміщується компактний графічний блок (створений на основі Faceplate), що відображає ключову інформацію: анімований індикатор рівня, цифрове значення рівня та уставки, а також індикатор стану (напр., зелений — «Робота», жовтий — «Ручний режим», червоний — «Аварія»).

З цього екрана реалізована навігація до деталізованих екранів кожного окремого фільтра.

Для кожного фільтра створюється єдиний екран, що динамічно відображає дані обраного фільтра), який містить:

Детальна анімована мнемосхема вакуум-фільтра, ванни, клапана та насоса показана в ДОДАТКУ І.

Панель керування, де оператор може змінювати уставку рівня, перемикає режим «Автоматичний/Ручний» та (за наявності прав доступу) виконувати ручне керування приводом.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

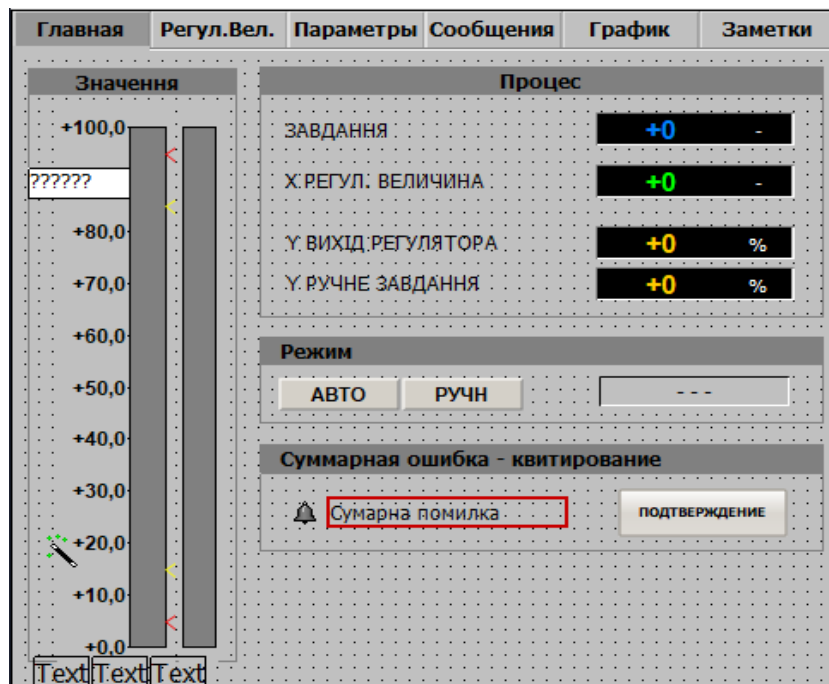


Рисунок 2.10 – Фесплейт

Панель налаштувань ПІД-регулятора, захищену паролем, де інженер може коригувати коефіцієнти K_p , K_i , K_d .

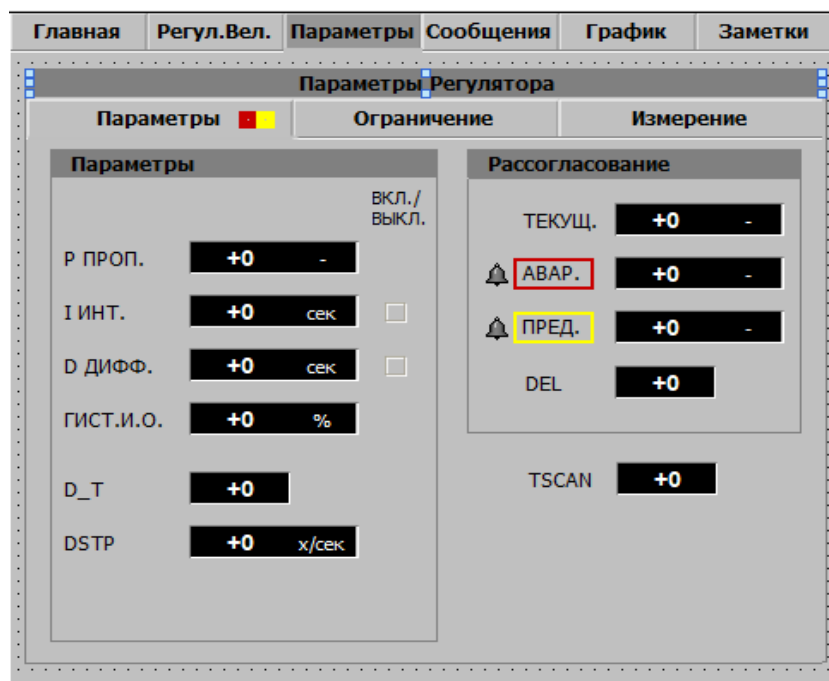


Рисунок 2.11 – Фесплейт ПІД – регулятора

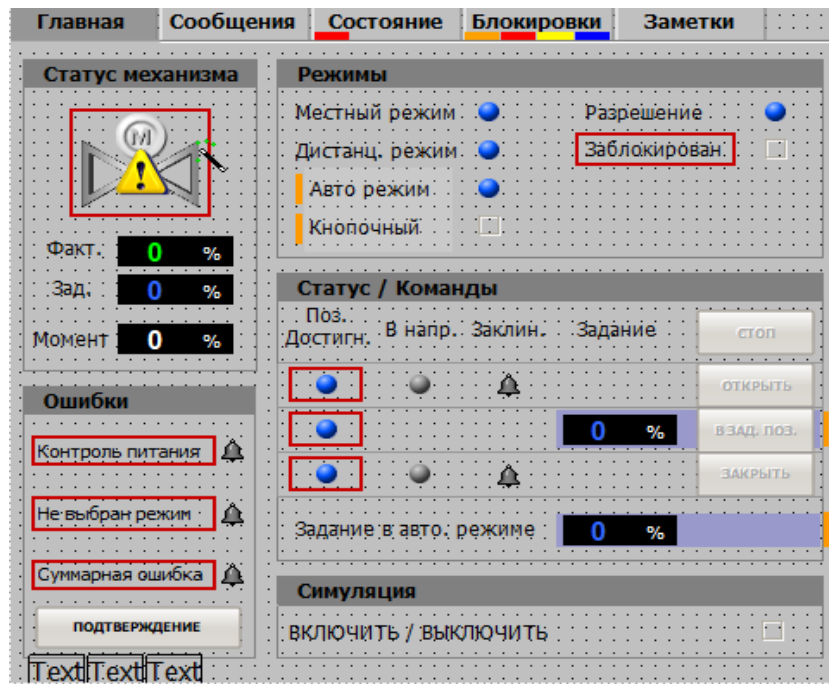


Рисунок 2.12 – Фесплейт Rotork IQ3

Розширену діагностичну інформацію, що зчитується з привода Rotork IQ3 (поточне положення з точністю до десятих, слово стану, коди помилок).

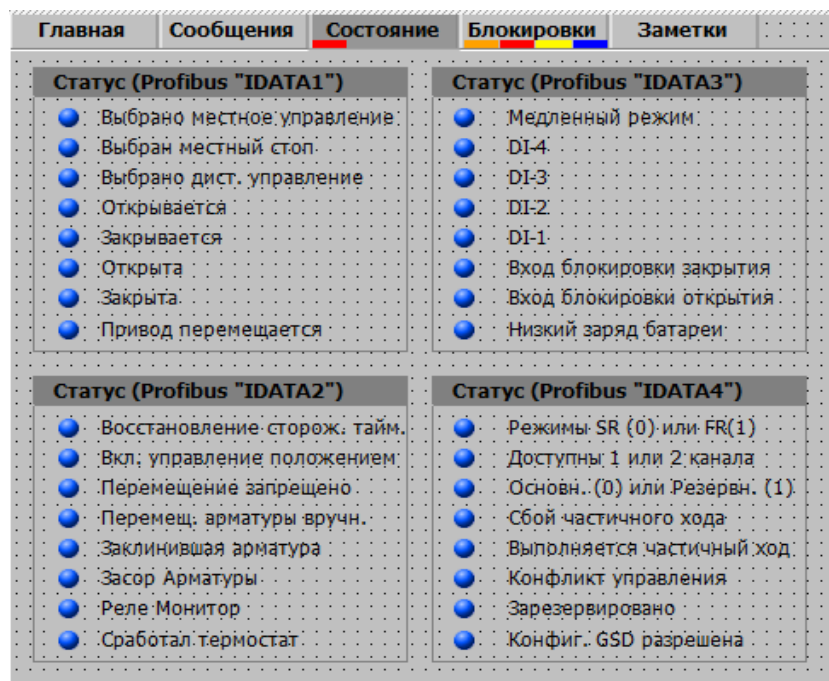


Рисунок 2.13 - Фесплейт Rotork IQ3

Налаштовується система архівів Tag Logging. У ній обираються ключові теги (рівні, уставки, положення клапанів для всіх шести фільтрів), які будуть записуватися в історичну базу даних із заданою періодичністю (напр., кожні 5 секунд).

Створюється екран з елементом «Trend View», де оператор або технолог може в режимі онлайн або за архівними даними переглядати графіки зміни параметрів за будь-який проміжок часу (година, зміна, доба). Це є потужним інструментом для аналізу ефективності регулювання та пошуку причин відхилень.

Крок 3: Налаштування системи тривоги та повідомлень (Alarming).

Налаштовується система, що автоматично сповіщає персонал про будь-які нештатні ситуації.

Для кожного контуру налаштовуються тривоги по перевищенню попереджувальних та аварійних меж рівня (напр., Рівень високий НН, Рівень низький LL).

Налаштовуються тривоги на основі сигналів від обладнання, наприклад, «Аварія привода Rotork», «Втрата зв'язку по Profibus».

Створюється екран тривоги, де всі повідомлення відображаються у вигляді таблиці з часом виникнення, описом та статусом (активна, квітована).

Крок 4: Налаштування системи архівів та звітів.

Це ключова відмінність SCADA-системи від HMI-панелі.

Архівація даних: система налаштовується на довготривале зберігання всіх технологічних параметрів та подій у базі даних (зазвичай на основі Microsoft SQL Server).

Розробка звітів: створюються шаблони звітів, які можуть генеруватися автоматично (напр., наприкінці кожної зміни) або за запитом оператора:

Змінний/добовий звіт: містить середні, мінімальні та максимальні значення рівня, кількість спрацювань тривоги, час роботи обладнання для кожного фільтра.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Звіт про події: детальний протокол усіх дій операторів (зміна уставки, вхід/вихід з системи) та аварійних повідомлень за обраний період.

Звіти можуть бути автоматично роздруковані або збережені у форматах PDF чи Excel для подальшого аналізу.

Крок 5: Керування доступом користувачів.

Для забезпечення безпеки та розмежування відповідальності налаштовується система керування користувачами.

Створюються різні групи користувачів з різними правами:

«*Оператор*»: має право переглядати мнемосхеми, змінювати уставки в заданих межах, квітувати тривоги.

«*Інженер КВПіА*»: має розширені права, включаючи доступ до налаштувань ПД-регуляторів, конфігурації архівів та інших інженерних параметрів.

«*Адміністратор*»: має повний доступ до системи, включаючи право створювати та редагувати облікові записи користувачів.

Таким чином, розроблена SCADA-система WinCC Professional перетворює локальну задачу автоматизації на повноцінний центр диспетчерського керування та збору даних, що є основою для подальшої оптимізації технологічного процесу та прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

2.9 Розробка функціональної схеми автоматизації

Схема функціональна показана на (Рис. 2.14). Після дешламатора МД-12 №31, отримана піскова фракція накопичується в зумпфі, що обслуговується насосною групою «ПД», яка територіально розташована в осях 36-37. Звідти, за допомогою насосного обладнання моделі 8/6W-II-(4L)-560R-75-PET, матеріал транспортується на відмітку +8,700, де встановлено пульпорозподільник (поз. FD-17). Ключовим завданням на цьому етапі є стабілізація живлення для

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вакуум-фільтрів, для чого концентрат з розподільника подається на усереднення до перемішувача МП-3,5 №22.

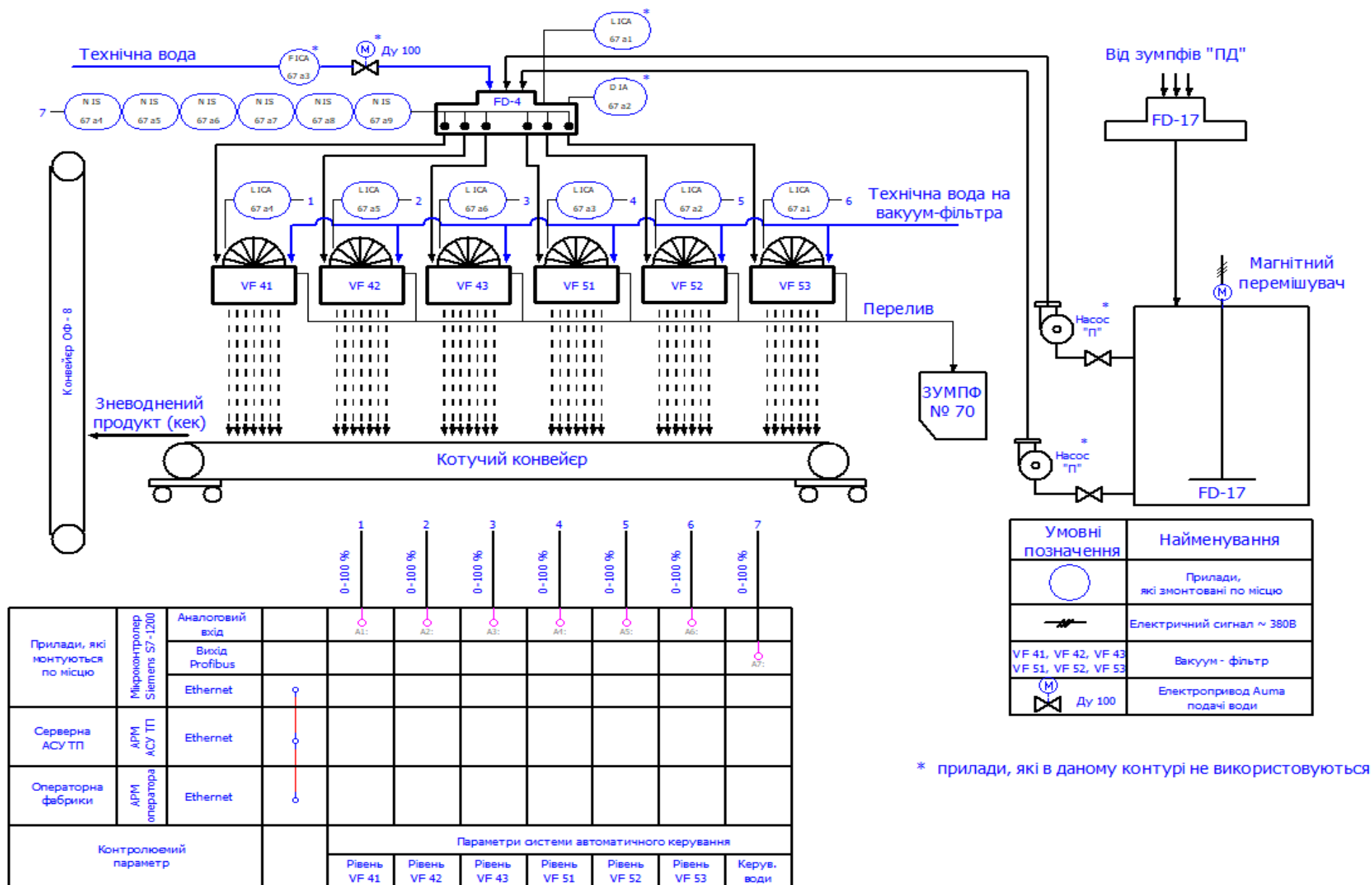
Після усереднення в перемішувачах (МП-3,5 №11, №21), пульпа транспортується групою з чотирьох насосів (№ 7П, 8П, 9П, 10П) тієї ж моделі 8/6W-II-(4L)-560R-75-PET. Потік направляється до десятиструменевого пульпорозподільника (поз. FD-4), змонтованого на відмітці +12,950 в межах осей 16-17. Функція даного розподільника полягає у забезпеченні рівномірним живленням шести діючих дискових вакуум-фільтрів «Бакор», що оснащені керамічними фільтрувальними елементами. Усі ці фільтрувальні установки розміщені на відмітці +7,980 (осі 14-21).

Кінцевий зневоднений продукт, відомий як кек, вивантажується з дискових вакуум-фільтрів на стрічковий катучий конвеєр (поз. ЗФ-4). Цей конвеєр знаходиться на відмітці +5,300, між осями 14 та 23. Звідти кек прямує на подальшу обробку до фабрики огрудкування або на склад готової продукції.

Технологічна схема також передбачає роботу з побічними продуктами. У випадку переливів з вакуум-фільтрів, вони акумулюються у спеціальному зумпфі (поз. 70). Насосне обладнання моделі 6/4SW-(2SL)-325L-55-PET перекачує ці переливи назад у цикл, направляючи їх до двоструменевого пульпорозподільника для повторного знешламлення на апаратах МД-12 №21-22.

У процесі роботи вакуум-фільтрів утворюється фільтрат, який через гідрозатвори збирається в буферних ємностях. Надлишкова частина фільтрату через переливну систему скидається в зумпф, звідки насосами моделі 5/4W-(II)-(2L)-325L-55-PET він також направляється на знешламлення до пульпорозподільника апаратів МД-12 №21-22. Водночас, накопичений у буферних ємностях фільтрат використовується для регенерації обладнання – ті ж насоси подають його для виконання зворотної промивки фільтрів «Бакор».

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61



* прилади, які в даному контурі не використовуються

Рисунок 2.14 – Схема функціональна

2.10 Розробка схеми електричної принципової

Схема електрична принципіальна показана в ДОДАТКУ Д.

Схема електрична принципова показує повний комплекс технічних засобів розробленої системи автоматичного керування, а також їхні інформаційні та силові зв'язки. Робота системи організована за ієрархічним принципом і включає польовий, контролерний та комунікаційний рівні.

Основними вимірювальними приладами є шість ультразвукових датчиків рівня «Міс +130» (позначені як «Рівень VF 53», «Рівень VF 52» і т.д.), по одному на кожну ванну вакуум-фільтра. Кожен датчик вимірює поточний рівень пульпи та перетворює його на уніфікований аналоговий сигнал струму в діапазоні 4-20 мА (клемма IU). Усі датчики рівня живляться від блоку живлення напругою 24В, який, у свою чергу, підключений до мережі змінного струму ~220В.

Аналогові сигнали 4-20 мА від шести датчиків рівня надходять на відповідні входи (AI0-AI3 першого модуля та AI0-AI1 другого) двох модулів аналогового вводу SM 1234. Модулі SM 1234, що є частиною станції на базі CPU 1215C, виконують аналого-цифрове перетворення, перетворюючи струмовий сигнал у цифровий код. Центральний процесор зчитує ці дані, масштабує їх у фізичні одиниці (відсотки) та використовує як вхідні змінні для шести незалежних ПД-регуляторів.

На основі порівняння поточного рівня з уставкою, програма в CPU 1215C розраховує необхідний керуючий вплив (наприклад, нове задане положення клапана) для кожного з шести контурів регулювання.

Розраховані керуючі команди передаються від CPU 1215C по мережі Profinet через промисловий комутатор (Комутатор) на шлюз «Модуль профібас» (IE/PB Link PN IO). Шлюз виступає мостом між двома мережами. Він приймає дані по Profinet і транслює їх у команди протоколу Profibus DP. По шині Profibus DP, до якої всі шість електроприводів Rotork IQ3 підключені послідовно, шлюз (як DP Master) надсилає індивідуальну команду кожному

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

приводу (ідентифікуючи його за унікальною Profibus-адресою). Інтелектуальний привод Rotork IQ3 отримує цифрову команду (наприклад, «переміститись у положення 75%») і за допомогою вбудованого позиціонера точно встановлює регулюючий клапан у задане положення, змінюючи таким чином потік пульпи. Приводи Rotork IQ3 також передають назад по шині Profibus свій поточний стан, реальне положення та діагностичну інформацію, яка через шлюз та мережу Profinet стає доступною для ПЛК та SCADA-системи.

Таким чином, схема реалізує замкнену систему керування, де дані про стан об'єкта безперервно зчитуються, обробляються центральним контролером, а керуючі впливи точно і надійно передаються на виконавчі механізми через сучасні промислові мережі.

Висновок до розділу

У другому розділі даної кваліфікаційної роботи було виконано комплексний аналіз та розробку сучасної системи автоматичного керування процесом стабілізації рівня пульпи у ваннах шести дискових вакуум-фільтрів.

На основі аналізу недоліків існуючої системи керування було обґрунтовано нагальну потребу в її модернізації з метою підвищення стабільності, надійності та ефективності технологічного процесу.

Для теоретичного підґрунтя подальших рішень було складено математичний опис об'єкта керування. Ванну вакуум-фільтра за каналом «вхідна подача – рівень» було ідентифіковано як астатичну інтегруючу ланку, що однозначно визначило необхідність застосування ПД-закону регулювання для усунення статичної помилки. Проведене в середовищі MATLAB моделювання наочно продемонструвало значні переваги розробленої системи з ПД-регулятором над старою дискретною системою, що виражається у суттєвому підвищенні стабільності та швидкості реакції на збурення.

Для програмно-технічної реалізації було проведено вибір сучасних засобів автоматизації. Ядром системи обрано програмований логічний

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролер SIMATIC S7-1215C, який забезпечує необхідну продуктивність та функціональність. Була розроблена централізована дворівнева структурна схема, що поєднує високошвидкісну мережу Profinet для зв'язку між ПЛК, НМІ та SCADA-системою, та промислову мережу Profibus DP для керування шістьма інтелектуальними електроприводами Rotork IQ3.

В рамках розробки програмного забезпечення було детально описано архітектуру програми для ПЛК в середовищі TIA Portal, що базується на модульному підході з використанням функціональних блоків (FB) для реалізації шести незалежних контурів регулювання. Також було описано розробку проекту візуалізації для панелі оператора TP700 Comfort та проект верхнього рівня — SCADA-систему на базі WinCC Professional, що забезпечує розширені функції моніторингу, довготривалого архівування даних та генерації звітності. Були детально розглянуті етапи конфігурування ПЛК та всіх апаратних компонентів.

Результати проектних робіт були формалізовані у вигляді функціональної схеми автоматизації, що графічно відображає всі контури контролю, керування та сигналізації, а також у вигляді схеми електричної принципової, що деталізує силові та сигнальні підключення всіх компонентів системи.

Таким чином, у даному розділі було повністю розроблено та технічно обґрунтовано сучасну, надійну та масштабовану систему автоматичного керування, що відповідає всім поставленим вимогам. Створена програмно-технічна база є готовою для практичної реалізації та подальшої оцінки економічної ефективності її впровадження.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі вирішено актуальну задачу підвищення ефективності процесу зневоднення залізородного концентрату шляхом розробки та обґрунтування сучасної системи автоматичного керування (САК) рівнем пульпи у ваннах шести дискових вакуум-фільтрів КДФ-90.

В ході виконання роботи були отримані наступні результати:

Проведено комплексний аналіз технологічного процесу зневоднення на збагачувальній фабриці ПрАТ «ЦГЗК». Встановлено, що ключовим фактором, який впливає на стабільність роботи обладнання, його продуктивність та якість кінцевого продукту, є стабільність рівня пульпи у ваннах вакуум-фільтрів. Аналіз існуючих систем керування виявив їхню низьку точність, надійність та повну відсутність засобів діагностики, що обґрунтувало доцільність та актуальність повної модернізації САК.

Розроблено математичну модель технологічного процесу як об'єкта керування. Було доведено, що ванна вакуум-фільтра за каналом регулювання рівня є астатичною інтегруючою ланкою. На основі цієї моделі в середовищі MATLAB проведено імітаційне моделювання, яке наочно продемонструвало переваги системи з ПД-регулятором над застарілою системою, зокрема, можливість стабілізації рівня з точністю до $\pm 1,5\%$ від уставки та ефективне відпрацювання зовнішніх збурень.

На основі аналізу сучасних технічних засобів обґрунтовано та обрано апаратну базу для побудови надійної та функціональної системи. Ядром системи виступає програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1215C, а в якості польового обладнання — точні ультразвукові давачі рівня

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Божок Н.Ю.			ВИСНОВКИ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Тиханський М.П.								66	2
								КНУ ЗАКІТ-22ск			
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.											

Microsonic та інтелектуальні електроприводи Rotork IQ3 з інтерфейсом Profibus DP.

Розроблено централізовану дворівневу архітектуру системи, що поєднує промислові мережі Profinet та Profibus DP через шлюз IE/PB Link.

Розроблено прикладне програмне забезпечення в інтегрованому середовищі TIA Portal. Архітектура програми для ПЛК базується на модульному підході з використанням функціональних блоків (FB) для керування кожним з шести контурів, що забезпечує її масштабованість, надійність та простоту обслуговування. Розроблено проект візуалізації для панелі оператора TP700 Comfort та проект верхнього рівня — SCADA-систему на базі WinCC Professional, що реалізує розширені функції моніторингу, архівування, звітності та діагностики.

Результати проектування формалізовано у вигляді комплексу технічної документації, що включає структурну та функціональну схеми автоматизації, а також схему електричну принципову підключення всіх компонентів.

Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблена система автоматизації дозволить отримати значний техніко-економічний ефект за рахунок підвищення стабільності процесу, зниження кінцевої вологості концентрату, зменшення зносу обладнання та скорочення експлуатаційних витрат.

Розроблена система автоматичного керування є повністю обґрунтованою, технічно завершеною та готовою до впровадження на виробництві.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ВАКУУМ-ФИЛЬТР КДФ-90.Руководство по эксплуатации. КДФ-90 00.00.000 РЭ.
2. ФИЛЬТРЫ ВАКУУМНЫЕ ДИСКОВЫЕ ДОО-100. Руководство по эксплуатации. 64331000.00000 РЭ. г. Бердичев.
3. Троп А. Е., Козин В. З., Прокофьев Е. В. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик: Учебник для вузов. 2–е изд., перераб. идоп. М.: Недра, 1986. 303 с.
4. Датчик відстані Microsonic. <https://www.microsonic.de/en/distance-sensors/cylindrical/micplus/standard-sensors/standard-sensors/micplus130iutc.htm>.
5. Марюта А. Н. Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитообогатительных фабриках. М., Недра, 1983.
6. Марюта А. Н., Качан Ю. Г., Бунько В. А., Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. М., Недра, 1983.
7. Гоголюк П.Ф. Теорія автоматичного управління. Навчальний посібник. Львів: в-во НУ «Львівська політехніка», 2009. 280 с.
8. Ковалев Д. А., Ванюкова Н. Д, Иващенко В. П., Крикунов Б. П., Ягольник М. В., Бойко М. Н. Теоретические основы производства окускованного сырья. Учебное пособие для высших учебных заведений. НМетАУ. Днепропетровск: ИМА – пресс. 2011. 476.
9. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування. К.: Либідь, 2007. 656 с.
10. Фельдбаум А. А., Бутковский А. Г. Методы теории автоматического управления. Главная редакция физико–математической литературы изд–ва «Наука». М., 1971. 744с.

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Божок Н.Ю.			СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Тиханський М.П.								68	3
								КНУ ЗАКІТ-22ск			
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затвердив											

11. Навчальний посібник Автоматизація технологічних процесів і систем автоматичного керування (частина 1) (kyrator.com.ua)(studme.org).

12. Білецький В.С. Феноменологічний метод дослідження технологічних процесів у гірництві // *Донецьк. Вісті Донецького гірничого інституту*. 2013.№2. С. 149–152.

13. Соколова В.П. Феноменологічна модель процесу флотації залізних руд при використанні суміші аполярного та геторополярного реагентів–збирачів // *Збагачення корисних копалин: Наук.–техн. зб.* 2016. Вип. 62(103). С. 117–127.

14. Козин В.З., Тихонов О.Н. Опробование, контроль и автоматизация обогатительных процессов. М.: Недра. 1990. 343 с.

15. Смирнов В.О., Білецький В.С. Проектування збагачувальних фабрик. Донецьк, Східний видавничий дім, 2002. 269 с.

16. Моркун Н. В., Маринич І. А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавру для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2019. 50 с.

17. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).

18. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

19. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація).

20. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (Інформація та документація).

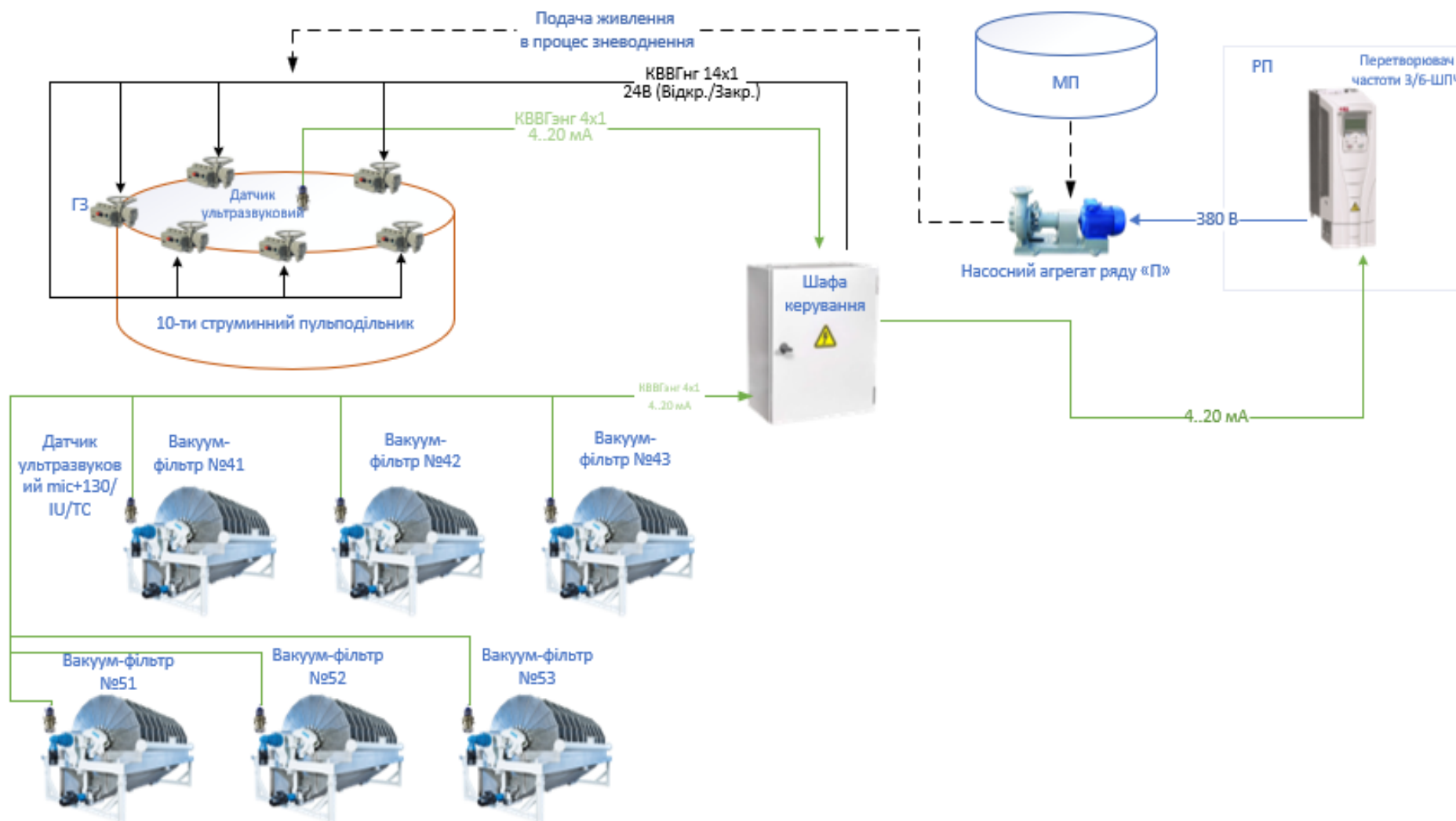
					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Техніка і технологія збагачення корисних копалин. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво» / В. Г. Кравець, В. С. Білецький, В. О. Смирнов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 30,6 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 286с.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ</i>	Арк.
						70
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ДОДАТОК А

Структурна схема існуючої системи автоматизації



Лістинг скрипта Matlab

```
% --- Скрипт для моделювання та порівняння систем керування рівнем ---  
% Мета: Порівняти стабільність підтримання рівня пульпи у ванні  
% вакуум-фільтра для старої релейної системи та нової системи з ПІД-  
регулятором.  
% Автор: Модель розроблена для кваліфікаційної роботи.  
% Дата: 07.06.2025  
  
clear all;  
  
clc;  
  
close all;  
  
%% 1. Параметри симуляції та об'єкта керування (ванни)  
T_sim = 600;      % Загальний час симуляції, [с]  
dt = 0.1;         % Крок симуляції, [с]  
t = 0:dt:T_sim;   % Вектор часу  
  
% Параметри ванни (умовні, для демонстрації)  
A = 5;            % Площа поперечного перерізу ванни, [м^2]  
H_max = 2;        % Максимальна висота рівня, [м]  
H_sp = 1.2;       % Уставка (бажаний рівень), [м]  
H_initial = 1.0;  % Початковий рівень, [м]  
  
% Параметри потоків  
Q_in_max = 0.2;   % Максимальна вхідна витрата (при повністю відкритому  
клапані), [м^3/с]  
Q_out_base = 0.1; % Базова вихідна витрата (відбір пульпи фільтром), [м^3/с]  
  
% Моделювання зовнішнього збурення (різка зміна відбору пульпи)  
disturbance_time = 300; % Час виникнення збурення, [с]  
disturbance_magnitude = 0.03; % Величина збурення, [м^3/с]  
  
Q_out = ones(1, length(t)) * Q_out_base;  
Q_out(t >= disturbance_time) = Q_out_base + disturbance_magnitude;  
  
%% 2. Моделювання СТАРОЇ системи (Регулятор МІК-311 + привод ГЗ КС 16)
```

```

% Параметри релейного регулятора (МИК-311)
hysteresis = 0.05; % Гістерезис (зона нечутливості) регулятора, [м]
% Параметри дискретного привода (ГЗ КС 16)
valve_speed = 0.02; % Швидкість зміни положення клапана (частка/с), 2% в
секунду
% Ініціалізація змінних для старої системи
H_old = zeros(1, length(t));
H_old(1) = H_initial;
valve_pos_old = zeros(1, length(t)); % Положення клапана (0 до 1)
valve_pos_old(1) = 0.5; % Початкове положення клапана
% --- Цикл симуляції старої системи ---
for k = 1:length(t)-1
    % --- Логіка релейного регулятора ---
    error = H_sp - H_old(k);
    if error > hysteresis
        % Рівень занижкий -> Відкриваємо клапан
        valve_command = 1; % Команда "відкрити"
    elseif error < -hysteresis
        % Рівень завищений -> Закриваємо клапан
        valve_command = -1; % Команда "закрити"
    else
        % Рівень в межах гістерезису -> Стоп
        valve_command = 0; % Команда "стоп"
    end
    % --- Модель дискретного привода ---
    valve_pos_old(k+1) = valve_pos_old(k) + valve_command * valve_speed * dt;
    % Обмеження положення клапана (0 до 1)
    if valve_pos_old(k+1) > 1
        valve_pos_old(k+1) = 1;
    elseif valve_pos_old(k+1) < 0

```

```

    valve_pos_old(k+1) = 0;
end
% --- Модель об'єкта (ванни) ---
Q_in = valve_pos_old(k) * Q_in_max; % Вхідна витрата пропорційна
положенню клапана
dH = (Q_in - Q_out(k)) / A; % Зміна рівня
H_old(k+1) = H_old(k) + dH * dt;
end
%%% 3. Моделювання НОВОЇ системи (ПД-регулятор S7-1200 + привод Rotork
IQ3)
% Параметри ПД-регулятора (умовні, потребують налаштування)
Kp = 2.5; % Пропорційний коефіцієнт
Ki = 0.5; % Інтегральний коефіцієнт
Kd = 1.0; % Диференціальний коефіцієнт
% Ініціалізація змінних для нової системи
H_new = zeros(1, length(t));
H_new(1) = H_initial;
pid_error_sum = 0; % Інтегральна сума помилки
pid_prev_error = 0; % Попередня помилка для D-складової
valve_pos_new = zeros(1, length(t)); % Положення клапана (0 до 1)
valve_pos_new(1) = 0.5;
% --- Цикл симуляції нової системи ---
for k = 1:length(t)-1
    % --- Логіка ПД-регулятора ---
    error = H_sp - H_new(k);
    % Р-складова
    p_term = Kp * error;
    % І-складова
    pid_error_sum = pid_error_sum + error * dt;
    i_term = Ki * pid_error_sum;

```

```

% D-складова
d_term = Kd * (error - pid_prev_error) / dt;
pid_prev_error = error;
% Вихідний сигнал регулятора
pid_output = p_term + i_term + d_term;
% --- Модель пропорційного привода Rotork ---
% Приймаємо, що привод швидко та точно відпрацьовує завдання від ПІД
valve_pos_new(k+1) = pid_output;
% Обмеження виходу (положення клапана від 0 до 1)
if valve_pos_new(k+1) > 1
    valve_pos_new(k+1) = 1;
    % Анти-windup: зупиняємо накопичення інтеграла при насиченні
    pid_error_sum = pid_error_sum - error * dt;
elseif valve_pos_new(k+1) < 0
    valve_pos_new(k+1) = 0;
    % Анти-windup
    pid_error_sum = pid_error_sum - error * dt;
end
% --- Модель об'єкта (ванни) ---
Q_in = valve_pos_new(k) * Q_in_max;
dH = (Q_in - Q_out(k)) / A;
H_new(k+1) = H_new(k) + dH * dt;
end
%% 4. Візуалізація результатів та порівняння
figure('Name', 'Порівняння систем керування рівнем', 'NumberTitle', 'off');
set(gcf, 'color', 'w'); % Білий фон фігури
% --- Графік 1: Рівень пульпи ---
subplot(2, 1, 1);
plot(t, H_old, 'r--', 'LineWidth', 1.5);
hold on;

```

```

plot(t, H_new, 'b-', 'LineWidth', 2);
plot([t(1), t(end)], [H_sp, H_sp], 'k:', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', 'Уставка');
plot([disturbance_time, disturbance_time], [min(H_old)*0.9, max(H_new)*1.1], 'g--', 'DisplayName', 'Збурення');
title('Порівняння стабільності підтримання рівня пульпи');
xlabel('Час, с');
ylabel('Рівень, м');
legend('Стара система (релейна)', 'Нова система (ПД)', 'Уставка', 'Момент збурення');
grid on;
axis([0 T_sim min(H_old)*0.95 max(H_old)*1.05]);
% --- Графік 2: Положення клапана ---
subplot(2, 1, 2);
plot(t, valve_pos_old*100, 'r--', 'LineWidth', 1.5);
hold on;
plot(t, valve_pos_new*100, 'b-', 'LineWidth', 2);
title('Робота виконавчого механізму (клапана)');
xlabel('Час, с');
ylabel('Положення клапана, %');
legend('Стара система (дискретна)', 'Нова система (пропорційна)');
grid on;
axis([0 T_sim -5 105]);
sgtitle('Результати моделювання старої та нової систем керування', 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold');

```

*Результати моделювання***Результати моделювання старої та нової систем керування**

Порівняння стабільності підтримання рівня пульпи

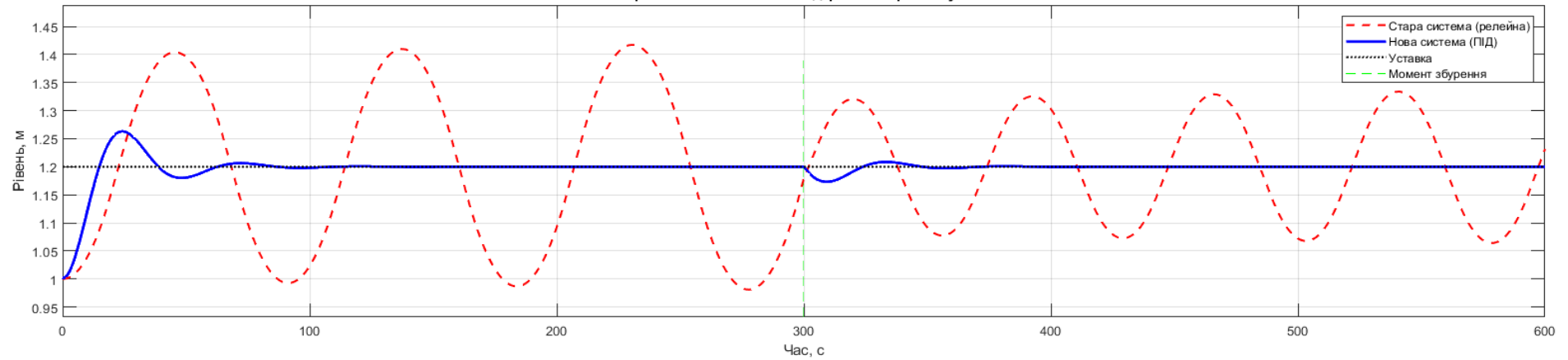
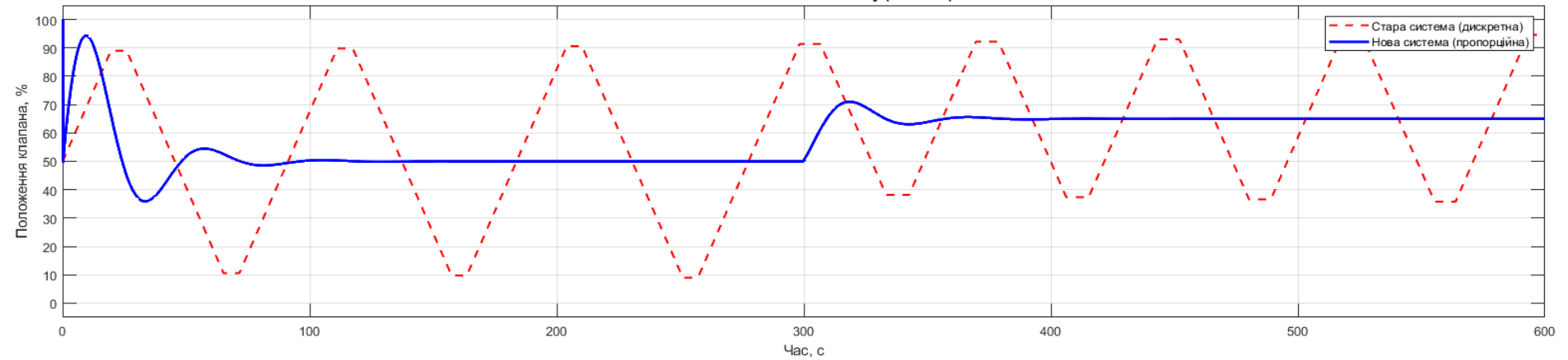
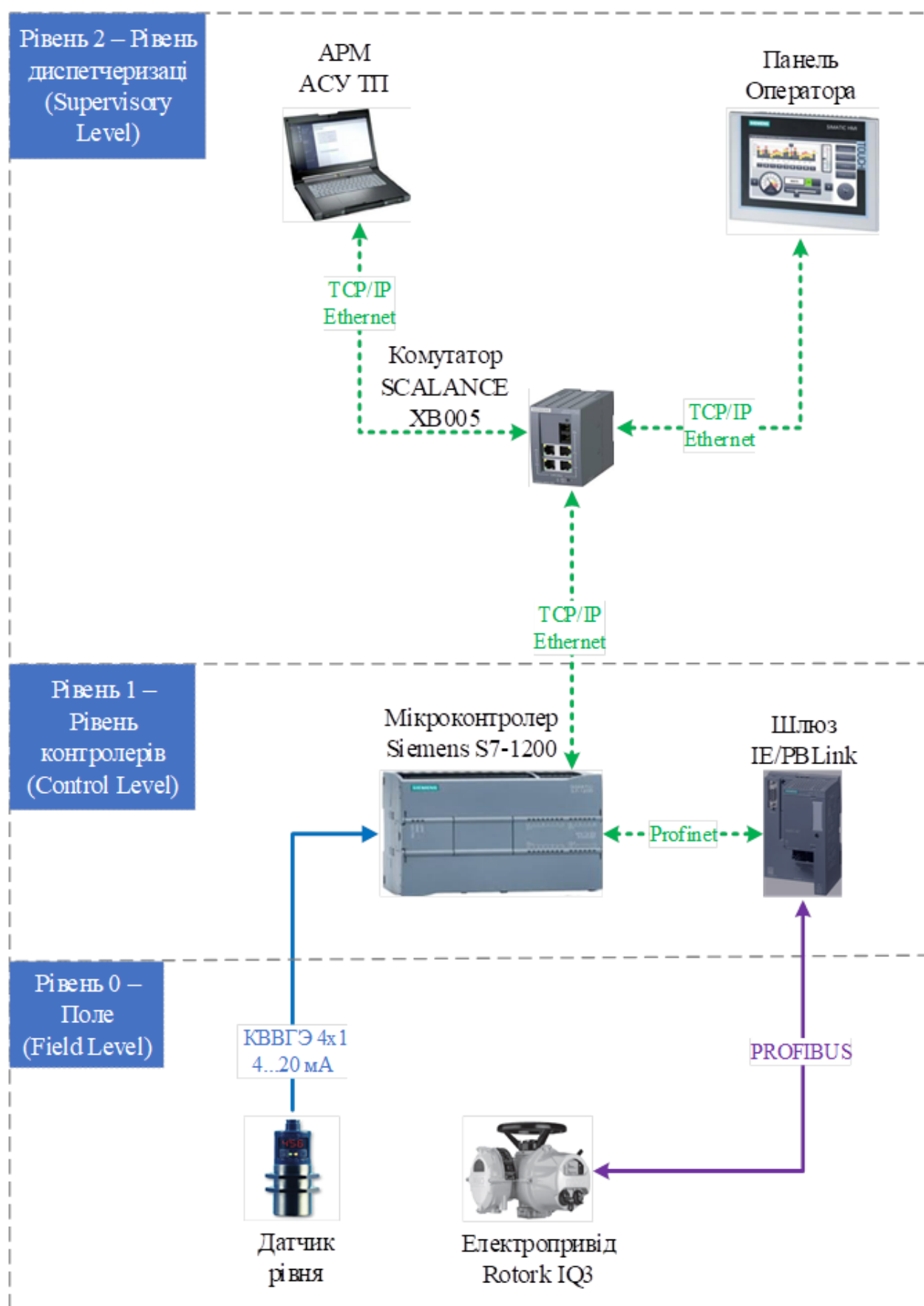
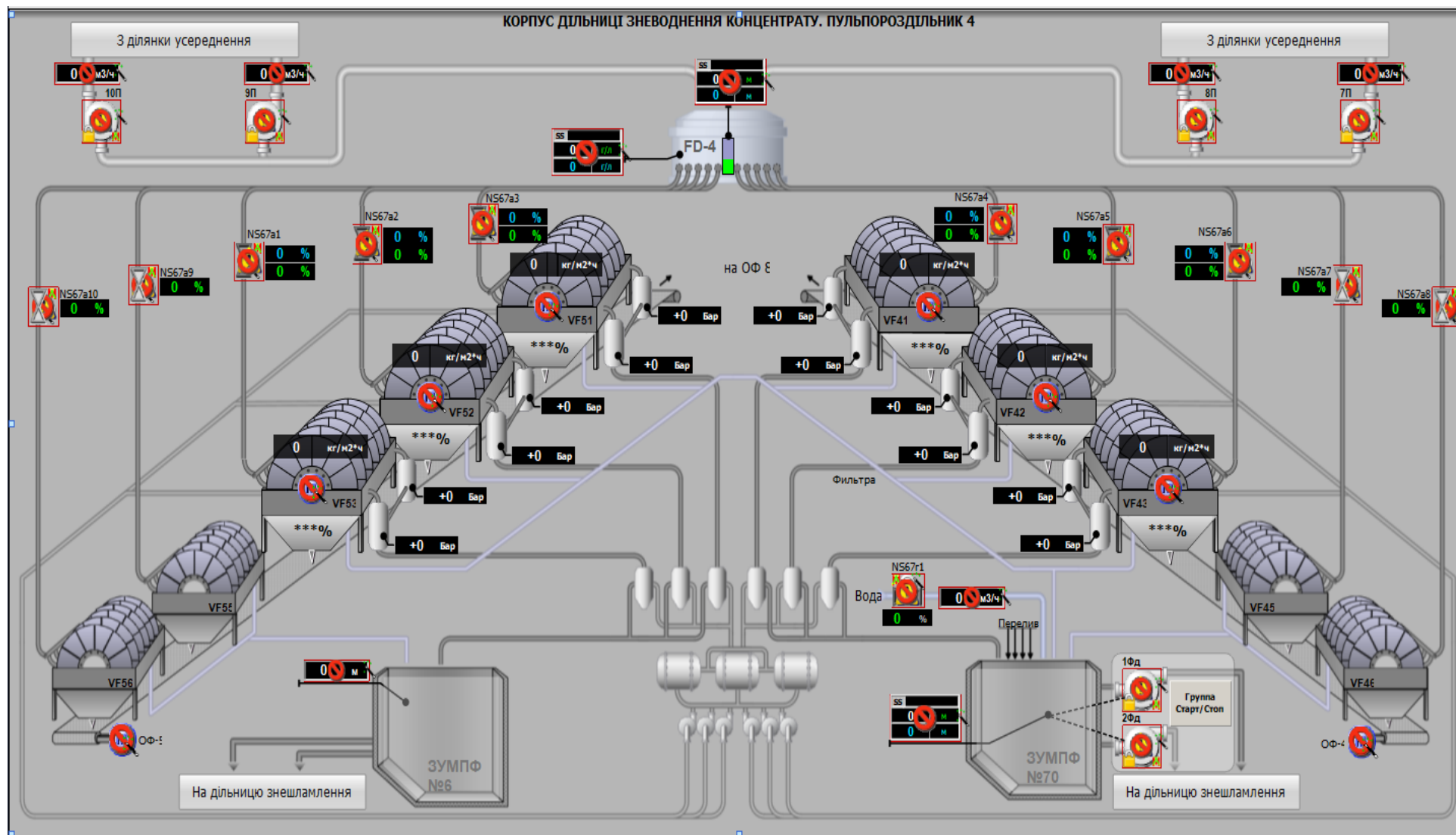
**Робота виконавчого механізму (клапана)**

Схема структурна



Вигляд SCADA-системи



ДОДАТОК Д

Схема електрична принципова

