МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут

Кафедра Електричної інженерії та автоматизації

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

Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Динніка Олександра Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Автоматизація обладнання гірничого департаменту. Автоматизована система керування процесом перекачування пульпи на насосній станції ПНС-2 цеху шламового господарства ПАТ «АМКР»

(повна назва теми)

за матеріалами з пульпонасосні станції ПНС-2 цеху шламового господарства ПАТ«АМКР»

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник доцент, к.т.н. _____ Григор'єва В.Г.

(наук. ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК
Протокол засідання кафедри
від 16.06.2026р. № 397-ст
Завідувач кафедри _____
(підпис)

доцент, к.п.н. Є.О. Модло

Наук. ступень, вчене звання *Ініціали, прізвище*

Кривий Ріг – 2026

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
_____
«____» _____2026року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Динніка Олександра Олександровича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи
Автоматизація обладнання гірничого департаменту. Автоматизована система керування процесом перекачування пульпи на насосній станції ПНС-2 цеху шламового господарства ПАТ «АМКР»

керівник випускної роботи Григор'єва Вікторія Георгіївна, доцент, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від «06» квітня 2026 року № 239-ст
2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи 02.06.2026
3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи: насос Д2000-100-2 потужність = 630кВт; продуктивність = 2000 м^3/годину; насос Д2500-62-2 потужність = 800кВт; продуктивність = 2500 м^3/годину; насос Warman 28/24UY-GHPP потужність = 3200кВт; продуктивність = 8000м^3/годину.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 4.1. Аналітична частина. Надати інформацію про склад, призначення та основні характеристики технологічного устаткування. Проаналізувати недоліки існуючого управління. 4.2. Основна частина. Розробка функціональної схеми, вибір технічних засобів автоматизації. Розробити алгоритм роботи системи. Вибрати обладнання для її реалізації. Розробити принципову схему. Розглянути заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності в умовах насосної, надати, висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Схема розведення технічної води ПНС-2 ВРБ.174.239-ст.06.Е7. Функціональна схема регулювання продуктивності насосної ВРБ.174.239-ст.06.Е2. Часові діаграми включення в роботу насосів ВРБ.174.239-ст.06.Е0.1. Структурна схема системи ВРБ.174.239-ст.06.Е1. Блок - схема алгоритму ВРБ.174.239-ст.06.Е0.2._

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Григор'єва В.Г.	10.04.2026	10.04.2026
Основна частина	Григор'єва В.Г.	10.04.2026	10.04.2026

7. Дата видачі завдання___10.04.2026_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	01.05.2026	
2.	Основна частина	22.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	28.05.2026	
4.	Виконання графічної частини	29.05.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	08.06.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	19.06.2026	

Студент _____ Диннік О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ _Григор'єва В.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

№ рядка	Формат	Позначення	Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.
1	А3	*ВРБ.174.239-ст.06.Е7*	Схема розведення	1		
2			технічної води ПНС-2			
3						
4	А3	*ВРБ.174.239-ст.06.Е2*	Функціональна схема	1		
5			регулювання			
6			продуктивності			
7			насосної			
8						
9	А3	*ВРБ.174.239-ст.06.Е0.1*	Часові діаграми	1		
10			включення в роботу насосів			
11						
12	А3	*ВРБ.174.239-ст.06.Е1*	Структурна схема системи	1		
13						
14	А3	*ВРБ.174.239-ст.06.Е0.2*	Блок - схема алгоритму	1		
15						
16	А4	*ВРБ.174.239-ст.06.ПЗ*	Пояснювальна записка	73		
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						

					ВРБ.174.239-ст.06.ВР			
Зм.	*Арк.*	*№ документа*	*Підпис*	*Дата*				
Розроб.		*Диннік О.О.*			*Автоматизація обладнання гірничого департаменту. Автоматизована система керування процесом перекачування пульпи на насосній станції ПНС-2 цеху шламового господарства ПАТ «АМКР»*	*Літера*	*Аркуш*	*Аркушів*
Пров.		*Григор'єва В.Г.*					*4*	*1*
						ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА гр. АВ-23ск		
Н.контр.		*Григор'єва В.Г.*						
Затв.		*Модло Є.О.*			***Відомість роботи***			

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної роботи: 73 с., 20 рис., 17 табл., 25 джерел.

Об'єкт розробки – пульпонасосна станція ПНС-2 цеху шламового господарства ПАТ «АМКР».

Мета роботи – організація дистанційного контролю та керування процесом транспортування продуктів збагачення й оборотної води у пульпонасосній станції; підвищення надійності функціонування станції шляхом стабілізації технологічних параметрів пульпопроводів і регулювання продуктивності насосних агрегатів; мінімізація непланових зупинок, спричинених гідроударами та перегрівом підшипників, а також зниження питомих витрат електроенергії на перекачування пульпи.

Метод дослідження – комплексний аналіз наявних технічних засобів і систем автоматизації пульпонасосних станцій гірничо-збагачувальних підприємств, порівняльна оцінка алгоритмів керування насосними агрегатами та вибір оптимального технічного рішення на основі критеріїв енергоефективності, надійності та вартості впровадження.

Дослідженням встановлено наступні принципові недоліки чинної системи управління ПНС-2: виникнення руйнівних гідравлічних ударів при прямому пуску електродвигунів потужністю до 3200 кВт; нераціональне споживання електроенергії внаслідок відсутності частотного регулювання продуктивності насосів; відсутність автоматизованого обліку витрати й щільності пульпи; необхідність постійної фізичної присутності чергового персоналу для контролю температурного режиму підшипникових вузлів.

У результаті виконаної роботи розроблено алгоритми керування, підібрано технічні засоби та спроектовано трирівневу автоматизовану систему управління, що реалізує плавний частотно-регульований пуск насосів, автоматичне регулювання їхньої продуктивності, безперервний моніторинг технічного стану обладнання та передавання оперативних даних на

диспетчерську робочу станцію по каналу GSM-зв'язку. Як апаратну базу нижнього рівня запропоновано модульний промисловий контролер ICP DAS I-8411-G з відповідними модулями введення-виведення; рівень диспетчеризації реалізовано на базі панельного програмованого контролера ОВЕН СПК107.

Ключові слова: автоматизована система управління, гідравлічний удар, енергоефективність, перетворювач частоти, промисловий контролер, пульпонасосна станція, частотно-регульований електропривод.

ЗМІСТ

ЗМІСТ 7
ВСТУП 9
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА 11
1.1 Загальні відомості про хвостосховища Кривого Рогу 11
1.2 Цех шламового господарства 13
1.3 Аналіз технічних даних відомих САУ пульпонасосною станцією 15
1.4 Постановка завдання випускної кваліфікаційної роботи 18
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА 19
2.1 Технічне завдання на створення системи 19
2.1.1 Мета створення АСУТП 19
2.1.2 Вимоги до структури і функціонування АСУ пульпонасосною станцією ПНС-2 20
2.1.3 Опис інформаційного забезпечення системи 20
2.1.4 Вимоги до надійності устаткування АСУ 21
2.1.5 Вимоги до засобів захисту від зовнішніх впливів 22
2.2 Принцип дії системи 22
2.2.1 Розробка системи автоматичного регулювання електроприводом насосів 22
2.2.2 Структура системи 25
2.2.3 Аналіз похибок вимірювання 29
2.3 Визначення необхідної кількості датчиків системи 30
2.4 Вибір технічних засобів системи 32
2.4.1 Вибір системи електропривода 32
2.4.2 Склад комплектного електропривода на базі MVD2000 33
2.4.3 Функціональна схема електропривода 33
2.4.4 Структурна схема 35
2.4.5 Вибір датчиків системи 37
2.4.6 Вибір силових контакторів 46

2.5 Компонування управляючого обчислювального комплексу (УОК)..... 47
2.5.1 Вибір контролера керування..... 47
2.5.2 Вибір модулів введення/виведення сигналів..... 48
2.5.3 Вибір джерела живлення..... 49
2.5.4 Вибір робочої станції..... 50
2.6 Розробка принципової схеми системи..... 52
2.7 Блок-схема алгоритму керування..... 54
2.8 Розрахунок показників надійності..... 58
2.9 Заходи з охорони праці та безпеки..... 61
2.9.1 Аналіз шкідливих і небезпечних чинників в умовах ПНС-2..... 61
2.9.2 Заходи щодо зниження шкідливих і небезпечних чинників..... 63
2.9.3 Засоби індивідуального захисту..... 64
2.9.4 Розрахунок рівня освітленості..... 65
2.9.5 Санітарно-побутові приміщення та пристрої..... 66
2.9.6 Пожежна безпека..... 67
2.9.7 Екологія й охорона навколишнього середовища..... 68
ВИСНОВКИ..... 69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 71

ВСТУП

Гірничо-збагачувальна промисловість України належить до найбільш енергоємних галузей національного виробничого комплексу. В умовах постійного зростання вартості електроенергії та жорсткого тиску на собівартість продукції перед підприємствами ГМК виникає нагальна потреба у впровадженні сучасних систем автоматизації, здатних кардинально знизити нераціональні енергетичні витрати. Особливо гостро ця проблема постає у системах гідравлічного транспортування пульпи – відходів мокрого магнітно-сепараційного збагачення, – де насосні агрегати перекачують десятки тисяч кубометрів абразивної суміші на добу [1].

Пульпонасосна станція ПНС-2 цеху шламового господарства ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» є ключовою ланкою технологічного ланцюга відведення хвостів збагачення на намивні карти хвостосховищ «Миролюбівське» та «Об'єднане. Четверта карта». Від безперебійної та ефективної роботи станції безпосередньо залежить стабільність усього виробничого циклу рудозбагачувальної фабрики. Водночас технічний аналіз об'єкта виявив цілу низку системних проблем в організації процесу перекачування, що є прямим наслідком застарілого підходу до автоматизації.

Насоси ПНС-2 потужністю від 630 до 3200 кВт досі обладнані нерегульованим приводом змінного струму з релейно-контакторною схемою прямого пуску. Цей підхід є технічно неприйнятним для умов важкого абразивного середовища шламопроводів з кількох принципових міркувань. По-перше, прямий пуск потужного синхронного двигуна породжує короткочасні пускові струми, що у 5–7 разів перевищують номінальні значення, і супроводжується різким ударним збільшенням тиску в пульпопроводі – так звані гідравлічні удари. За оцінками фахівців, саме вони є головною причиною порівняно частих руйнувань трубопроводів і ущільнень насосів, що тягне за собою аварійні простої тривалістю від кількох годин до кількох діб [5]. По-друге, нерегульований привід змушений працювати на повній потужності

незалежно від поточної потреби в подачі пульпи, що в умовах об'єктивно змінного графіка навантаження перетворюється на систематичну та значну перевитрату електроенергії.

Не менш важливою проблемою є недостатня інформаційна насиченість чинної системи автоматизації. Зокрема, температурний контроль підшипникових вузлів насосів – ключовий параметр діагностики їхнього технічного стану – досі здійснюється вручну оперативним персоналом кожні дві години. Окрім ризику несвоєчасного виявлення передаварійного нагріву, такий підхід формує вимогу постійної присутності персоналу у виробничих зонах з підвищеним рівнем шуму та вібрації, що суперечить вимогам охорони праці. Відсутність засобів автоматизованого обліку витрати та щільності пульпи унеможливлює оперативний контроль ефективності роботи станції та ведення об'єктивної виробничої звітності.

Основним завданням даної випускної роботи є розробка автоматизованої системи управління (АСУ) для ПНС-2, яка комплексно вирішує перелічені проблеми. Ключовим елементом технічного рішення є запровадження частотно-регульованого електропривода для плавного пуску насосів і регулювання їхньої продуктивності відповідно до поточного технологічного навантаження. Завдяки цьому стає можливим не лише повністю унеможливити гідравлічні удари при пуску, але й суттєво знизити питоме споживання електроенергії та збільшити міжремонтні інтервали обладнання. Розроблювана система повинна забезпечувати: підтримання роботи системи на оптимальній точці характеристики Q-H; функціонування насосних агрегатів в економічному режимі; автоматичне попередження про аварійні та нештатні ситуації; аварійне відключення обладнання в граничних випадках.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості про хвостосховища Кривого Рогу

Видобуток і переробка магнетитових кварцитів у Криворізькому залізорудному басейні впродовж десятиліть формують одне з найгостріших екологічних та інженерних завдань регіону – безпечне складування колосальних обсягів дрібнозернистих відходів збагачення. За даними технологічних розрахунків, відходи збагачення – так звані хвости або шлами – становлять від 53 до 65 % від загального обсягу видобутої рудної маси. Щорічно лише до хвостосховищ гірничозбагачувальних комбінатів Криворіжжя транспортується близько 2,5 млрд м3 пульпи, тобто водно-шламової суміші з масовою часткою твердих частинок від 3 до 5 %. Це обумовлює необхідність підтримки розгалуженої та технічно складної інфраструктури гідротранспортних систем, що є невід'ємною частиною виробничого комплексу ГЗК [2].

Усього в районі міста Кривий Ріг функціонує вісім великих хвостосховищ, сукупна площа яких перевищує 7 тис. га родючих земель. В них накопичено понад 2,1 млрд т відходів збагачення з масовою часткою заліза від 14 до 18 %. Більшість хвостосховищ являють собою рівнинні резервуари, обгороджені земляними дамбами обвалування, які поступово нарощуються в міру заповнення намивними картами. Найбільша концентрація гірничозбагачувальних підприємств зосереджена в межах Дніпропетровської області, де на повну потужність працюють Північний, Центральний, Інгулецький та Південний ГЗК, ГЗК «Суха балка», Новокриворізький ГЗК та Криворізький залізорудний комбінат [2].



Рис. 1.1. Картографічне положення хвостосховищ «Миролюбівське» і «Об'єднане», [2]

Підприємство «Arcelor Mittal Кривий Ріг» як найбільший виробник у регіоні експлуатує два шламонакопичувача – «Миролюбівське» площею 479 га та «Об'єднане. Четверта карта» площею 384 га. За оцінками ДП «Гіпромашозбагачення», у хвостосховищах Придніпров'я акумульовано більше 3,5 млрд $м^3$ відходів, з яких левова частка – від 2,7 до 3 млрд $м^3$ – зосереджена саме в Дніпропетровській області. Ці цифри переконливо ілюструють масштаб виробничої задачі та підкреслюють важливість надійного та енергоефективного гідротранспортування [2].

Система гідравлічного транспортування хвостів є складним інженерним комплексом, до якого входять самопливні залізобетонні лотки для відведення шламів від рудозбагачувальних фабрик, чотири пульпонасосні станції (ПНС-1, ПНС-2, ПНС-3, ПНС-4), мережа аварійних ємностей і лотків, а також магістральні й розподільні пульповоди загальною протяжністю понад 100 км із діаметрами труб від 600 до 1200 мм. Технологічна схема транспортування побудована на принципі послідовного підйому: пульпа від рудозбагачувальних фабрик спочатку самопливом надходить до восьмиметрового зумпфа ПНС-1, звідки двома землесосами В20/18 та НП-500 по двох нитках напірних пульповодів Ду 800 мм подається до прийомного зумпфа ПНС-2. З ПНС-2 потужні землесоси НП-800 перекачують пульпу по двох нитках Ду 1200 мм на хвостосховище «Миролюбівське», тоді як для наповнення «Об'єднаного» задіяно землесоси Warman. Прояснена вода з хвостосховищ самопливом надходить на насосні станції оборотного водопостачання і повертається у виробничий цикл підприємства [2].

1.2 Цех шламового господарства

Цех шламового господарства ГЗКа є одним з ключових виробничих підрозділів рудозбагачувальних фабрик, на якого покладено відповідальне завдання: приймання відходів збагачення, транспортування їх у хвостосховища і забезпечення оборотного водопостачання фабрик. Цех засновано у 1958 році, і

вже з перших років його існування колектив зіткнувся з непростою технічною задачею – побудовою надійної системи гідравлічного відведення хвостів. Примітно, що саме ЦШГ ГЗКа «Криворіжсталі» став першим підприємством у Кривбасі, де був успішно впроваджений принцип напірного гідротранспорту, відмовившись від початково застосованих самопливних систем, котрі виявились малопотужними і такими, що не відповідають вимогам масштабованого виробництва [2].

Перехід до напірного гідротранспорту дався непросто. Перші напірні пульпопроводи виготовлялися з дерев'яних клепок, стягнутих металевими обручами, діаметром 800 мм, і виявились надзвичайно ненадійними: після кожної зупинки подачі пульпи на окремих ділянках утворювався вакуум, що призводило до руйнування конструкції. Для оперативного ремонту в цеху довелось утримувати спеціальну бригаду із 15 теслярів. Лише з накопиченням виробничого досвіду та встановленням тісної взаємодії з проектними інститутами вдалося перейти на сталеві труби великого діаметра, що докорінно вирішило проблему [2].

У жовтні 1996 року у зв'язку з ускладненням виробничих завдань цех шламового господарства РЗФ виокремлено в самостійну структурну одиницю ГЗКа. Сьогодні на балансі підприємства перебувають два шламонакопичувачі, а сумарна протяжність магістральних і розподільних пульпопроводів перевищує 100 км. Для транспортування шламів на хвостосховищах установлено сучасні та продуктивні насоси «Warman», що підтверджує курс підприємства на технічне оновлення [2].

Основні технічні характеристики насосів, що застосовуються на ПНС-2, наведено в табл. 1.1. Аналіз цих даних показує значний розкид за потужністю – від 132 кВт у насосів 8ГрК до 3200 кВт у агрегатів Warman 28/24UY-GHPP та НП-800, – що обумовлює принципово різні підходи до організації електропривода та систем захисту. Зокрема, для насосів потужністю 2000 кВт і вище проблема обмеження пускових струмів і гідравлічних ударів набуває

критичного значення, оскільки їхній вплив на цілісність пульпопроводів є найбільш руйнівним [5].

Таблиця 1.1

Основні характеристики насосів, застосовуваних на ПНС-2

Тип насоса	Потужність, кВт	Продуктивність, $м^3$/год	Напір, м.в.ст.	Оберти, об/хв	tмакс підш., °С
Д2000-100-2	630	2000	100	750	80
Д2500-62-2	800	2500	62	1000	80
Warman 28/24UY-GHPP	3200	8000	91	375	85
Warman 20/18HGY-A	1600	5940	63	500	85
НП-800	3200	8000	71	375	80
8ГрК	132	400	40	985	70

1.3 Аналіз технічних даних відомих САУ пульпонасосною станцією

Для формування концепції розроблюваної системи автоматизації ПНС-2 було проведено аналіз технічних рішень, реалізованих на аналогічних об'єктах вітчизняної та закордонної гірничодобувної промисловості. Як найбільш інформативний і технічно близький приклад розглядалась автоматизована система управління пульпонасосною станцією збагачувальної фабрики № 1 комбінату «Печенганікель» [3]. Задача, що стояла перед розробниками тієї системи, є типологічно ідентичною нашій: автоматизація управління потужними електронасосними агрегатами (більше 700 кВт кожен) з запровадженням частотного регулювання, автоматизацією функцій пуску та зупинки і реалізацією системи аварійних блокувань. Тримачем контракту і постачальником технологічного обладнання виступала швейцарська компанія «RUKET M & F AG», а генеральним проектувальником – інститут «Механобр» [3].

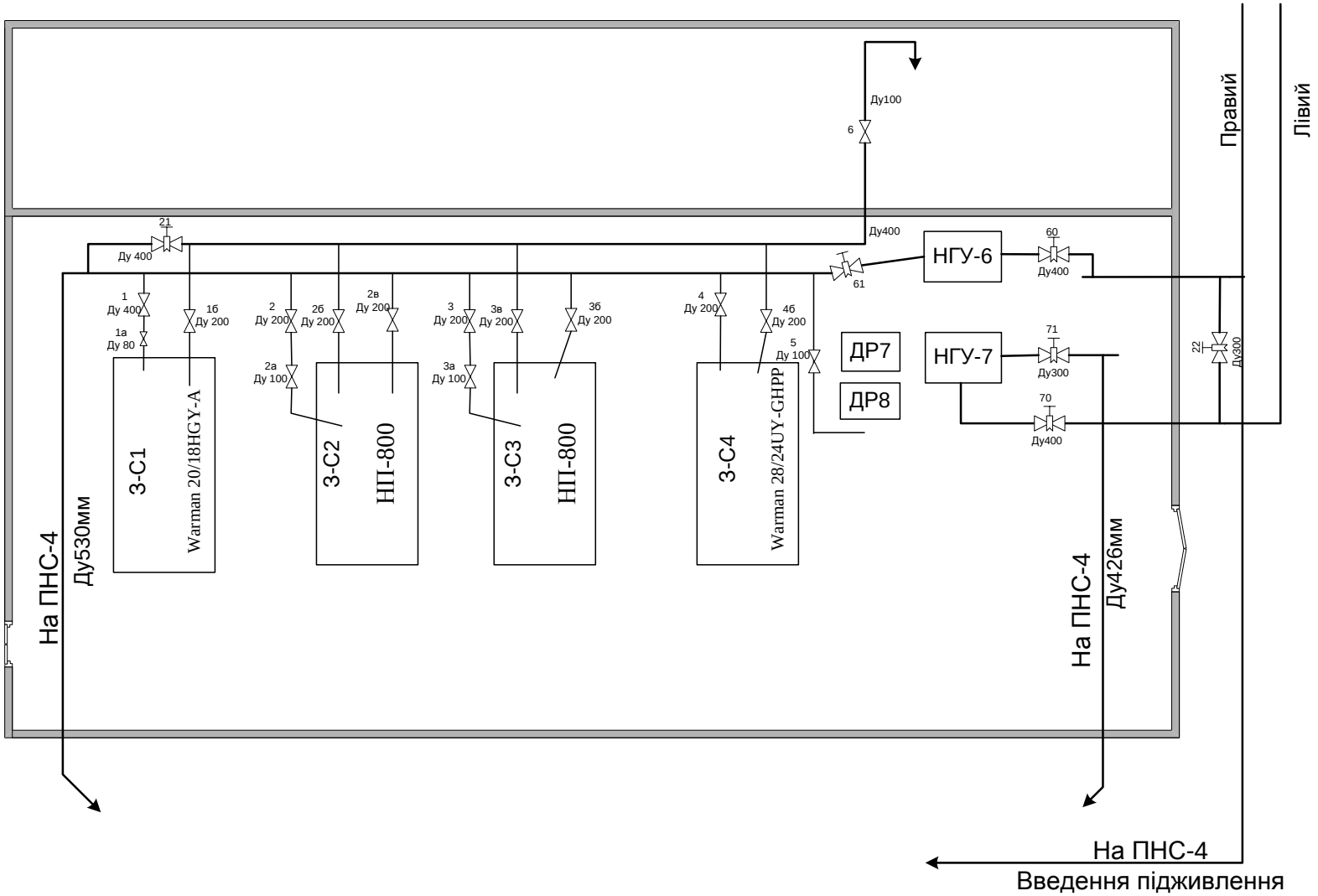


Рис. 1.2. Схема розведення технічної води ПНС-2 ЦШГ РЗФ
(розроблено автором)

Ретроспективний аналіз стану об'єкта до автоматизації дозволяє чітко виявити системні вади нерегульованого привода у застосуванні до пульпонасосних станцій. До впровадження ЧРП намив хвостосховищ здійснювався шляхом почергового короткочасного (тривалістю 2-3 год) увімкнення наявних насосів із наступним їх відключенням. Такий переривчастий режим мав кілька руйнівних наслідків: по-перше, кожен пуск супроводжувався гідравлічним ударом, що створював миттєвий стрибок тиску в пульповоді; по-друге, зупинки насосів сприяли седиментації твердої фази пульпи в трубопроводах, що при повторному пуску вимагало суттєво більших зусиль для відновлення течії. Сукупність цих факторів призводила до інтенсивного абразивного зносу та передчасного виходу з ладу обладнання [3].

Впровадження частотно-регульованих приводів виробництва Metso Minerals у поєднанні з системою SCADA InTouch та програмним модулем ISaGRAF докорінно змінило ситуацію. ЧРП забезпечив плавний розгін насосів з обмеженням пускового струму і без стрибків тиску, а система автоматичного управління прийняла на себе функції регулювання частоти обертання залежно від поточного рівня пульпи у хвостовому зумпфі. Оператор отримав можливість здійснювати моніторинг і управління з автоматизованого робочого місця [3].

Водночас критичний розгляд реалізованого рішення виявляє принциповий конструктивний недолік: для кожного насосного агрегату використовується окремий перетворювач частоти. В умовах ПНС, де насоси почергово підключаються до системи (одночасно на повну потужність розганяється лише один агрегат), такий підхід є економічно надлишковим. Аналіз цього недоліку і став відправною точкою для розробки більш економічно виваженої схеми, де один перетворювач частоти через систему комутуючих контакторів послідовно обслуговує кілька насосних агрегатів [3].

1.4 Постановка завдання випускної кваліфікаційної роботи

Аналіз технологічного процесу перекачування пульпи на ПНС-2, встановлені недоліки чинної системи автоматизації та досвід аналогічних об'єктів дозволяють сформулювати комплексне технічне завдання на розробку нової АСУ. Система автоматизації пульпонасосної станції повинна будуватися на принципі максимальної автономності й самодостатності: запуск насосного агрегату разом із усіма супутніми операціями повинен ініціюватись єдиним командним імпульсом від оператора або автоматично. Управління насосами передбачається у двох режимах: місцевому – з панелі на насосній станції, та дистанційному – з диспетчерської робочої станції.

Проєктована система автоматичного контролю та управління ПНС-2 повинна в повному обсязі реалізовувати функції моніторингу: безперервний контроль рівня пульпи в технологічних зумпфах; вимірювання витрати й щільності пульпи в напірних пульповодах; контроль тиску в напірних трубопроводах після кожного насоса; вимірювання температури підшипникових вузлів; контроль рівня вібрації на опорних рамах. Крім того, система повинна виконувати діагностичні функції: ідентифікацію дисбалансу ротора, ознак зламу вала, дефектів підшипників та передкавітаційних режимів. Окрема вимога – ведення автоматизованого обліку кількості перекачаної пульпи та напрацювання кожного насоса.

У частині функцій захисту система повинна забезпечувати автоматичне закриття ножових засувок напірних пульповодів при аварійному відключенні насоса, а також автоматичне введення в роботу резервного насосного агрегату з усіма необхідними перекомутаціями. Таким чином, реалізація розробленої системи дозволить: цілковито усунути гідравлічні удари при пуску; знизити питоме споживання електроенергії приблизно на 12-15 %; збільшити міжремонтні інтервали насосів та двигунів у 2,5-3 рази; забезпечити дистанційний контроль і управління станцією в режимі реального часу.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Технічне завдання на створення системи

2.1.1 Мета створення АСУТП

Впровадження автоматизованої системи управління технологічним процесом пульпонасосної станції ПНС-2 переслідує декілька взаємопов'язаних цілей, що у своїй сукупності визначають очікуваний техніко-економічний ефект від реалізації проекту. Першочерговою метою є перехід від ручного та місцевого управління до повноцінного дистанційного контролю і керування процесом перекачування в режимі реального часу. Це означає, що черговий оператор отримує можливість відстежувати стан усіх технологічних параметрів та ухвалювати управлінські рішення, перебуваючи на диспетчерській робочій станції, без необхідності фізичного обходу машинного залу.

Другою принципово важливою метою є підвищення надійності функціонування станції шляхом стабілізації технологічних параметрів пульпопроводів і регулювання продуктивності перекачувальних насосів. Чинна система не контролює рівень заповнення зумпфів пульпою, внаслідок чого насоси можуть запускатись при недостатньому заповненні (ризик кавітації та «сухого ходу») або навпаки – призводити до переповнення зумпфа. Натомість розроблювана АСУ підтримуватиме рівень пульпи в зумпфі в заданому діапазоні, автоматично регулюючи продуктивність насосних агрегатів. Третьою важливою метою є мінімізація непланових простоїв та скорочення витрат електроенергії шляхом впровадження частотно-регульованого привода. Таким чином, реалізація АСУ спрямована не лише на автоматизацію наявних функцій, а є системним кроком до підвищення техніко-економічних показників усього технологічного переділу.

2.1.2 Вимоги до структури і функціонування АСУ пульпонасосною станцією ПНС-2

Розроблювана система автоматичного управління повинна являти собою трирівневу ієрархічну структуру, що є загальновизнаним стандартом побудови сучасних промислових АСУ ТП. Такий підхід дозволяє чітко розмежувати функції збирання даних, їхньої обробки та представлення, а також забезпечити гнучкість при масштабуванні та модернізації системи в майбутньому.

Нижній (польовий) рівень охоплює засоби первинного перетворення інформації: датчики технологічних параметрів (тиску, витрати, рівня, температури, вібрації, щільності), виконавчі механізми (приводи засувок) та силові елементи (перетворювач частоти, високовольтні контактори). На цьому рівні відбувається перетворення фізичних величин в уніфіковані електричні сигнали та видача керуючих впливів на виконавчі механізми.

Середній рівень – мікропроцесорний контролер з модулями введення-виведення сигналів – є мозком системи. Саме тут реалізуються алгоритми автоматичного регулювання, логіка захистів і блокувань, алгоритми послідовного пуску насосів та обмін інформацією з обома рівнями управління. Верхній рівень – диспетчерська робоча станція – забезпечує людино-машинний інтерфейс: відображення поточних значень параметрів на мнемосхемах, ведення архіву подій та трендів, формування виробничих звітів та надання персоналу можливості дистанційного управління насосами і засувками. Вимоги до надійності: середнє напрацювання на відмову – не менше 8000 год; середній час відновлення – не більше 0,5 год; збереження працездатності при відмові будь-якого окремого датчика.

2.1.3 Опис інформаційного забезпечення системи

Інформаційна модель АСУ ТП ПНС-2 будується на принципі від загального до конкретного. На найнижчому рівні формуються первинні

інформаційні потоки: аналогові (4–20 мА) та цифрові (RS-485/Modbus RTU) сигнали від датчиків, а також дискретні сигнали стану комутаційних апаратів. Контролер обробляє ці дані, виконує масштабування та лінеаризацію вимірювань, порівнює їх із заданими уставками і формує відповідні керуючі впливи або сигнали тривоги.

Система підтримує розвинуту функцію архівації, що є обов'язковою вимогою для виробничих систем класу SCADA. Архів формується в режимі реального часу і містить три категорії записів: журнал подій, журнал аварій та попереджень (усі перевищення уставок з фіксацією часу виникнення і квітування), а також архів трендів – безперервний запис поточних значень технологічних параметрів з регульованим кроком дискретизації. Відображення інформації реалізується через ієрархічно побудований набір мнемосхем. Будь-яке відхилення параметра від норми викликає автоматичне кольорове сповіщення на відповідному елементі мнемосхеми та генерує запис в журналі тривог зі звуковим супроводом.

2.1.4 Вимоги до надійності устаткування АСУ

Вимоги до надійності технічних засобів АСУ ТП ПНС-2 сформовані виходячи з безперервного режиму виробничого процесу та критичності даного технологічного вузла для роботи всього рудозбагачувального виробництва. Встановлено наступні нормативні показники надійності: середнє напрацювання на відмову для комплексу в цілому – не менше 8000 год; середній час відновлення після відмови будь-якого компонента – не більше 0,5 год. При виході з ладу будь-якого окремого первинного перетворювача (датчика) система повинна зберігати повну функціональну працездатність, автоматично переходячи на резервний алгоритм або сигналізуючи оператору про необхідність ручного контролю відповідного параметра.

2.1.5 Вимоги до засобів захисту від зовнішніх впливів

Умови експлуатації технічних засобів АСУ ТП на промисловому майданчику ПНС-2 характеризуються підвищеними вимогами до захищеності від впливу факторів навколишнього середовища. Відповідно до [4], блок мікропроцесорного контролера відноситься до кліматичної групи В2 (діапазон робочих температур від мінус 10 до плюс 55 °С, відносна вологість до 98 % при 35 °С), а датчики – до групи С1, яка передбачає роботу в умовах підвищеної вологості та запиленості. За стійкістю до атмосферного тиску система відповідає групі Р1, а за стійкістю до механічних вібрацій – групі N2.

2.2 Принцип дії системи

2.2.1 Розробка системи автоматичного регулювання електроприводом насосів

Фундаментальна концепція автоматичного регулювання продуктивності насосної системи ПНС-2 базується на взаємодії двох механізмів: плавної зміни частоти обертання регульованого насосного агрегату за допомогою перетворювача частоти та ступінчастої зміни кількості паралельно працюючих нерегульованих насосів залежно від поточного попиту на пульпу. Така комбінована стратегія управління є оптимальною з точки зору енергоефективності: вона дозволяє уникнути як нераціонального дроселювання засувками, так і частого вмикання і вимикання потужних агрегатів, що скорочує ресурс обладнання [5].

Фізична основа ефективності частотного регулювання добре описується законами подібності для відцентрових машин. При зниженні частоти обертання насоса вдвічі споживана ним потужність теоретично зменшується у вісім разів (закон куба). У конкретних умовах ПНС-2 при роботі регулюючого насоса на рівні 0,75 від номінальної швидкості (що відповідає типовому режиму часткового навантаження) споживана потужність знижується приблизно на 12

% у порівнянні з режимом регулювання засувками при повній частоті обертання [5]. В масштабах добового споживання потужних агрегатів кВт-класу це перетворюється на відчутну економію. Крім того, зниження швидкості обертання безпосередньо зменшує інтенсивність абразивного зносу робочого колеса та ущільнень, зменшує навантаження на підшипники і знижує рівень вібрації. Досвід аналогічних об'єктів свідчить про збільшення ресурсу насосів та електродвигунів у 2,5-3 рази при застосуванні частотного регулювання замість нерегульованого привода [5].

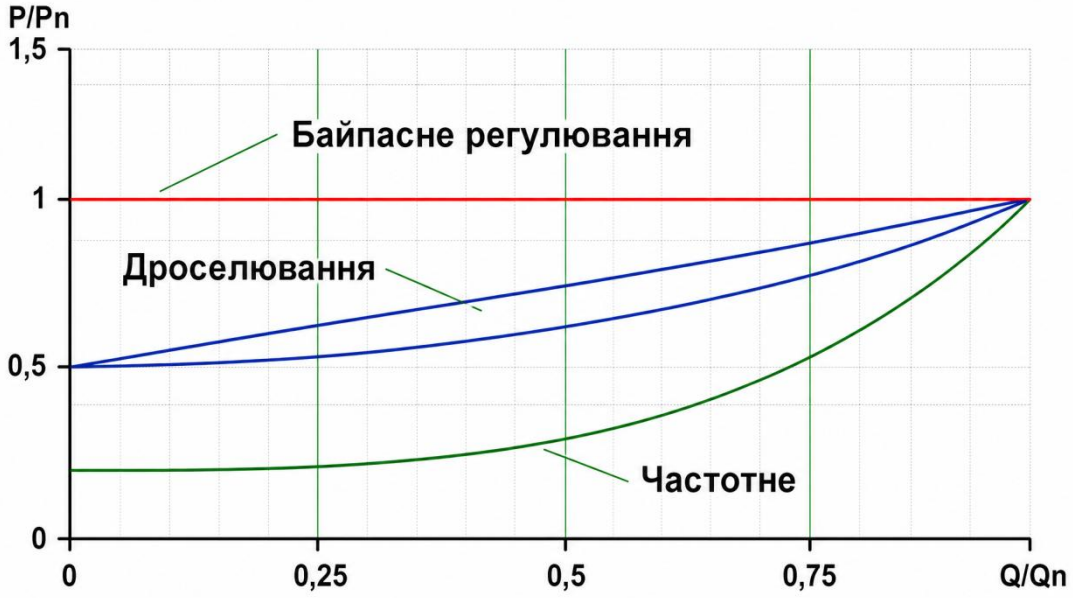


Рис. 2.1. Порівняння методів регулювання продуктивності насосів [5]

Функціональна схема управління насосами наведена на рис. 2.2. Схема реалізує гнучку структуру, в якій єдиний перетворювач частоти через систему перемикаючих контакторів забезпечує кілька сценаріїв роботи: плавний розгін обраного насоса до номінальної швидкості з наступним переключенням двигуна з виходу ПЧ безпосередньо в мережу живлення (режим «пом'якшеного пуску»); підтримання заданого тиску в магістралі шляхом безперервного регулювання швидкості одного з насосів за допомогою ПЧ (режим «плавного регулювання»); поєднання цих режимів для групи насосів – коли одні агрегати вже вийшли в мережу і працюють з постійною швидкістю, а ПЧ підключений до наступного насоса для точного підтримання тиску.

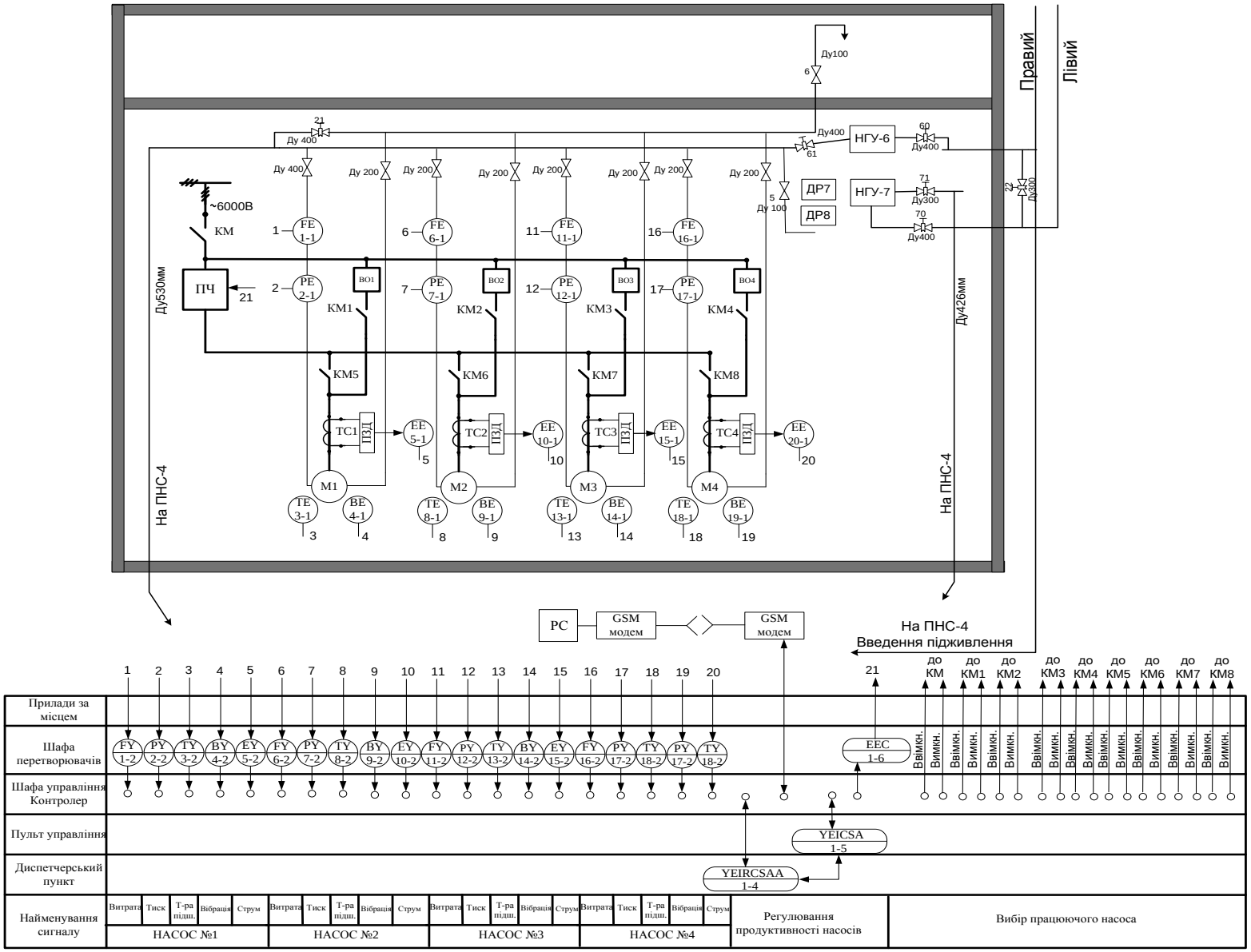


Рис. 2.2. Функціональна схема регулювання продуктивності насосної з використанням одного ПЧ (розроблено автором)

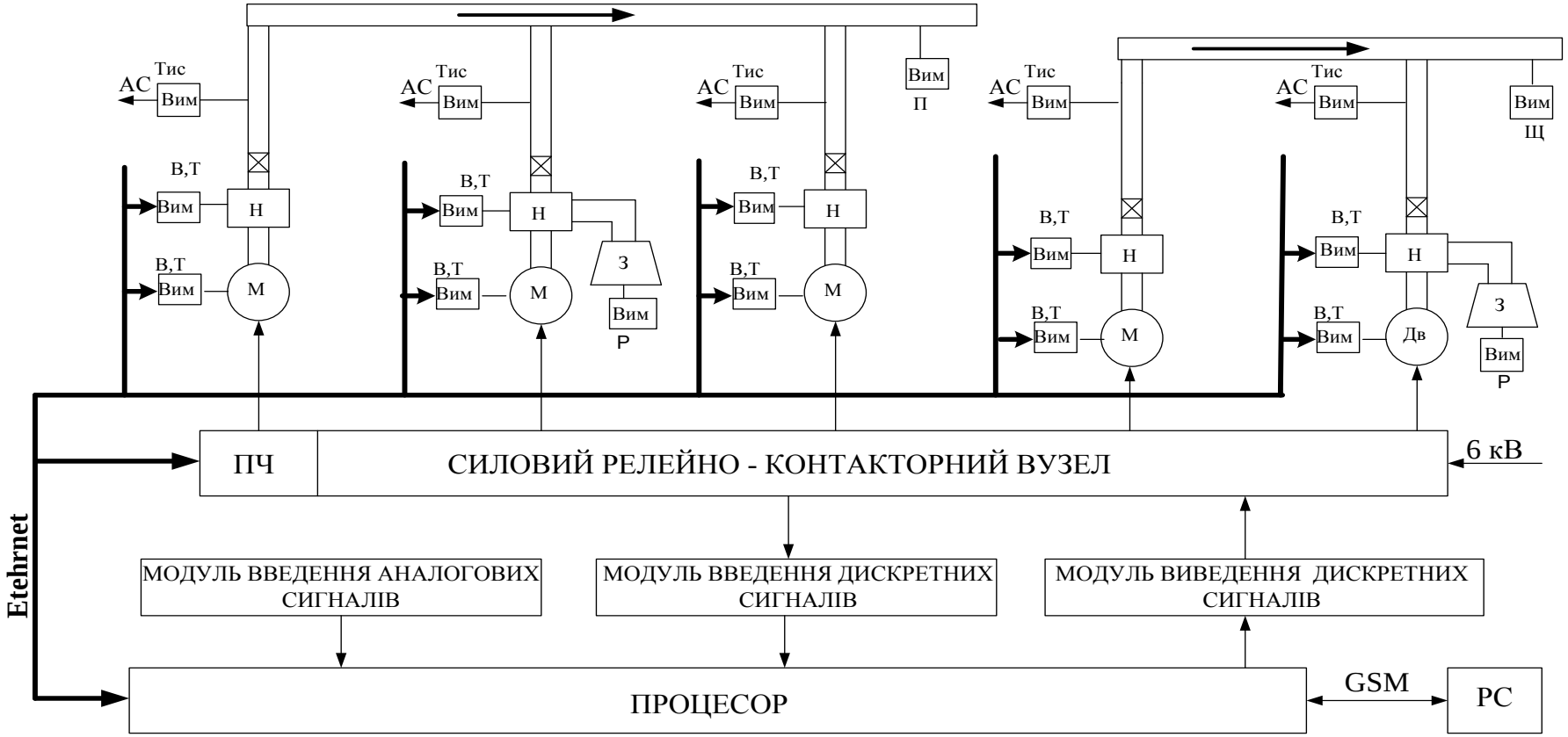
2.2.2 Структура системи

Структурна схема розробленої АСУ ТП ПНС-2 наведена на рис. 2.3 і являє собою трирівневу ієрархічну архітектуру, кожен рівень якої виконує чітко визначені функції та взаємодіє з суміжними рівнями через стандартизовані інформаційні інтерфейси.

Перший (нижній) рівень утворений датчиками та силовим вузлом. Ключовою конструктивною особливістю, яка відрізняє запропоноване рішення від традиційних схем і значно знижує його вартість, є використання єдиного перетворювача частоти для обслуговування всіх п'яти насосів через систему комутуючих високовольтних контакторів. Такий підхід ґрунтується на принципі, що одночасно в режимі частотного регулювання знаходиться лише один насосний агрегат – або той, що запускається, або той, що виконує роль «регулюючого» для підтримання заданого тиску. Всі інші агрегати в цей момент або вже перемкнені безпосередньо в мережу і працюють з постійною швидкістю, або перебувають у режимі очікування. Крім того, відмова від індивідуальних електрифікованих засувок дозволяє отримати додаткову економію електроенергії близько 12 % на рік [5].

Другий рівень – мікропроцесорний контролер з модулями введення-виведення – реалізує всі алгоритми управління і захисту. Принциповою особливістю його організації є використання послідовних інтерфейсів зв'язку (RS-485) для підключення більшості датчиків, що дозволяє в десятки разів скоротити кількість провідникової продукції порівняно з традиційними аналоговими схемами і підвищити завадостійкість системи.

Третій (верхній) рівень – диспетчерська робоча станція на базі панельного програмованого контролера ОВЕН СПК107 – забезпечує зберігання архіву технологічних параметрів, формування графічних трендів і виробничих звітів, відображення мнемосхем у режимі реального часу.



Тлумачення умовних позначень
Вим – датчики: т – тиску, В – вібрації, Т – температури,
Вит – витрати, Р- рівнемір, Щ – Щильномір;
Н – насос
М – двигун
ПЧ – перетворювач частоты
РС – рабоча станція
АС - аналоговий сигнал
⧖ - засувка

Рис. 2.3. Структурна схема системи
(розроблено автором)

Зв'язок між контролером і робочою станцією організовано по бездротовому GSM-каналу, що дозволяє розмістити диспетчерський пункт на значній відстані від машинного залу – в зоні, вільній від підвищеного шуму та вібрації.

На рис. 2.4 зображено часову діаграму послідовного запуску трьох насосів з початкового стану «Зупин». Кольорове маркування відображає роботу різних апаратів:

– червоний колір вказує на моменти спрацювання та інтервали увімкнення пристроїв, які забезпечують функціонування першого насосного двигуна;

– зелений – для обладнання, пов’язаного з другим двигуном;

– синій – для третього двигуна.

Розшифровка позначень на діаграмі:червоним показано стан увімкнення пускачів К1 і К5 (двигун 1), синім – К2 і К3 (двигун 2), зеленим – К7 (двигун 3).

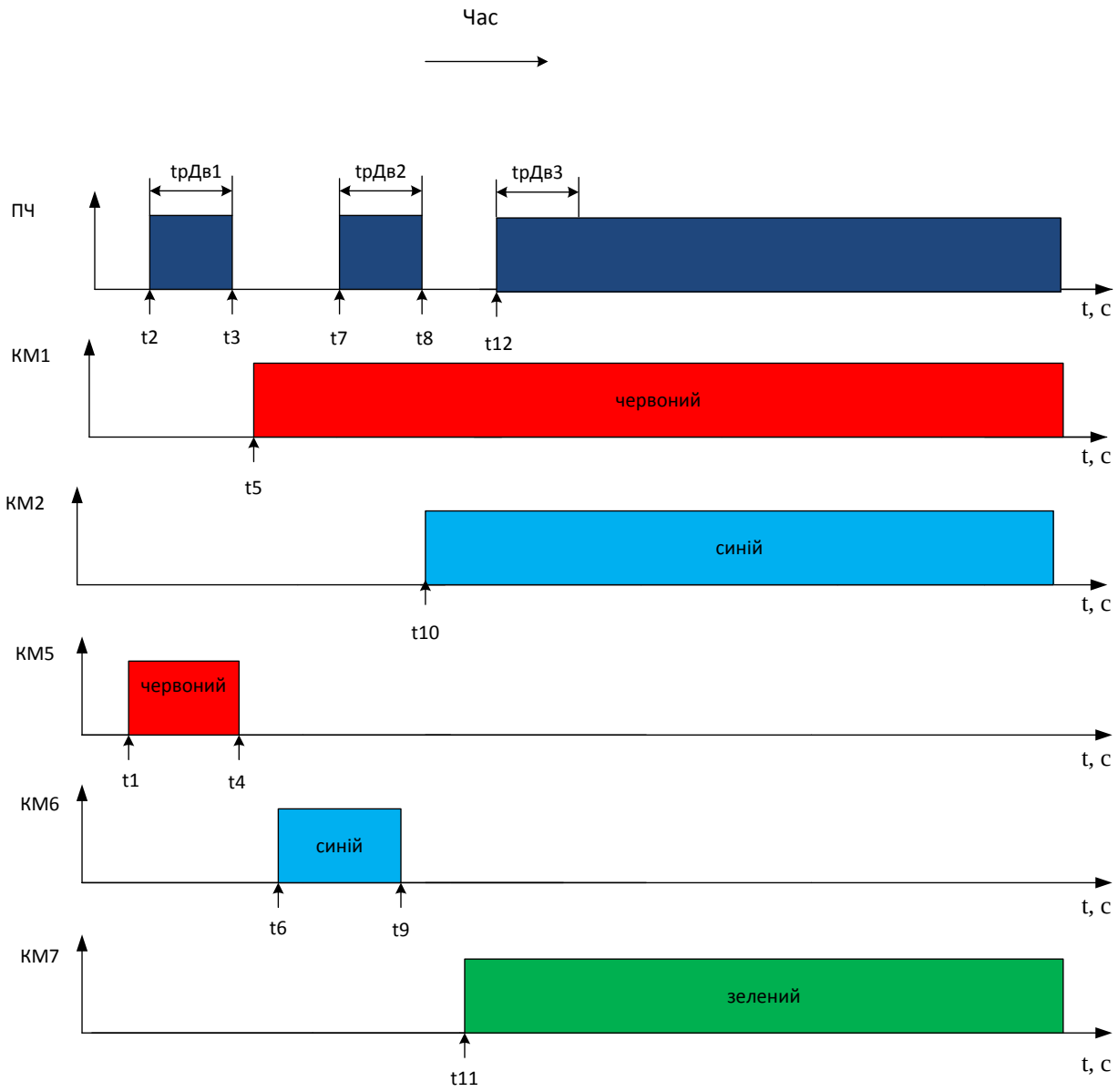
Аналіз роботи двигунів за діаграмою: протягом інтервалу tрдв1 перший двигун, підключений через контакти КМ5 до перетворювача частоти (ПЧ), плавно розганяється до номінальної швидкості. Після завершення розгону (момент t3) ПЧ вимикається. Далі в момент t4 відбувається розмикання контактів КМ5, а в момент t5 за допомогою контактів КМ1 двигун 1 приєднується безпосередньо до електричної мережі.

Другий двигун запускається аналогічно першому, але з використанням контактів КМ6 і КМ2.

Третій двигун: після плавного пуску залишається підключеним до ПЧ. Його швидкість обертання змінюється за командами контролера з метою стабілізації тиску в магістралі.

Важлива особливість: усі перемикання пускачів (увімкнення / вимкнення) виконуються в режимі безструмової паузи.

Тривалість кожного часового інтервалу між моментами t_i та $t_{(i+1)}$ визначається експериментально під час налагодження системи.



ПЧ – перетворювач частоти;
КМІ – контакти високовольтних контакторів;
ti – моменти часу включення- відключення ПЧ та КМІ;
t1 < t2 < t3, …, t12;
tрДві – час плавного пуску двигуна;
Червоний колір – робота двигуна 1;
Синій колір – робота двигуна 2;
Зелений колір – робота двигуна 3 в режимі стабілізації тиску.

Рис. 2.4. Часові діаграми включення в роботу 3- насосів з положення «Зупин»

(розроблено автором)

2.2.3 Аналіз похибок вимірювання

Коректне функціонування системи автоматичного регулювання визначається не лише якістю алгоритмів управління, а й точністю первинних вимірювань технологічних параметрів. Аналіз динаміки технологічних параметрів, що вимірюються у ПНС-2, свідчить про те, що найбільш швидкозмінним є тиск у напірному трубопроводі після насоса, для якого характерна швидкість зміни вихідного сигналу датчика di/dt = 12 мА/с.

Загальна максимально можлива (абсолютна) похибка вимірювального каналу тиску визначається як алгебраїчна сума похибок усіх складових ланцюга перетворення:

$$\lambda = \lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4+\lambda_p \qquad (2.1)$$

де λ_1 - основна приведена похибка датчика тиску; λ_2 - похибка блока нормалізації сигналу; λ_3- похибка АЦП контролера; λ_4- методична динамічна похибка, зумовлена дискретністю опитування датчиків; λp - похибка обчислень (приймається рівною нулю).

Задавшись допустимою загальною похибкою λ = 5 %, на підставі паспортних даних обраних технічних засобів розподіляємо її між складовими:

$$5 = 2 + 0{,}25 + 0{,}15 + \lambda_4 \qquad (2.2)$$

Звідси відносна методична похибка λ_4 = 2,6 %. Абсолютна динамічна похибка, виражена через вихідний сигнал датчика тиску з діапазоном вимірювання 4-20 мА, становить:

$$\lambda_{4абс} = 0{,}026 \times 20 = 0{,}52 \text{ мА}, \qquad (2.3)$$

де 20 – верхня межа тиску, мА.

Допустимий інтервал часу між послідовними опитуваннями датчика контролером:

$$\Delta t = \lambda_{4абс} \times 1000 / (di/dt) = 0{,}52 \times 1000 / 12 = 40 \text{ мс} \qquad (2.4)$$

де 1000 - коефіцієнт перерахунку секунд у мілісекунди.

Отримане значення $\Delta t = 40$ мс відповідає частоті дискретизації 25 Гц. Таким чином, контролер повинен забезпечувати опитування кожного з п'яти датчиків тиску та п'яти датчиків рівня пульпи не рідше одного разу кожні 40 мс. Час, що фактично витрачається контролером на опитування всіх цих десяти каналів через модуль АЦП, становить лише 8,5 мс, що залишає значний резерв обчислювального ресурсу для інших задач – обробки дискретних сигналів, виконання алгоритмів управління та GSM-зв'язку.

2.3 Визначення необхідної кількості датчиків системи

Визначення складу засобів вимірювання є ключовим кроком при проектуванні АСУ ТП, оскільки повнота та достовірність інформації про стан об'єкта безпосередньо визначають якість автоматичного управління. Виходячи з технологічної характеристики насосів ПНС-2 (табл. 1.1), датчики температури підшипникових вузлів і датчики вібрації встановлюються лише на ті насоси та електродвигуни, продуктивність яких дорівнює або перевищує 2500 $м^3$/год – тобто на 5 найпотужніших агрегатів. Це обґрунтоване технічне рішення: саме потужні машини несуть максимальні навантаження, мають найбільшу вартість і є найбільш критичними з точки зору наслідків аварійної відмови. Повний перелік і загальні дані датчиків системи наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Перелік і загальні дані датчиків системи

№	Найменування	К-сть, шт.	Тип	Форма сигналу	Виробник
1	Температура підшипників	15	VTIR1816	RS-485	OMRON (JP)
2	Вібрація підшипників	15	VSA001	4-20 мА, RS-485	IFM Electronic (DE)
3	Тиск у напірних трубопроводах	5	JUMO 404753	4-20 мА	JUMO (DE)
4	Витрата пульпи	10	DMDF-B	4-20 мА, RS-485	–
5	Стан контакторів і вимикачів	16	Блок-контакти	сухий контакт	–
6	Щільність пульпи	2	ПРИЗ-Т	RS-485	НПП ТЕТРА (UA)
7	Рівень пульпи в зумпфах	5	УРВН-3	4-20 мА	УКРСПЕЦКОМПЛЕКТ (UA)

Загальна кількість датчиків системи становить 68 шт. Аналіз складу датчиків за типом вихідного сигналу показує: датчики з цифровим виходом (RS-485/Modbus RTU) – 42 шт.; з аналоговим виходом (4-20 мА) – 10 шт.; дискретні датчики (блок-контакти) – 16 шт. Переважання цифрових засобів вимірювання є усвідомленим технічним рішенням, яке дозволяє суттєво скоротити кількість провідникової продукції і підвищити завадостійкість вимірювального тракту.

2.4 Вибір технічних засобів системи

2.4.1 Вибір системи електропривода

Вибір системи електропривода є центральним технічним рішенням всього проекту, оскільки саме перетворювач частоти визначає ефективність усіх ключових функцій АСУ – плавного пуску, регулювання продуктивності та захисту обладнання. При виборі ПЧ для умов ПНС-2 необхідно враховувати особливі вимоги: номінальна напруга 6 кВ, максимальна потужність двигунів до 3200 кВт, важкі умови навколишнього середовища (температура, вологість, вібрація), а також необхідність інтеграції з промисловою мережею управління по протоколу RS-485.

За результатами порівняльного аналізу техніко-економічних характеристик перетворювачів частоти провідних виробників обрано перетворювач серії MVD2000 типу MVD26C-400-212NNA1 виробництва Delta Electronics Slovakia. Ця модель є технічно рівноцінним аналогом продукції таких визнаних виробників, як Siemens (серія SINAMICS GM150) та ABB (серія ACS2000), проте її ціна є суттєво нижчою, що забезпечує значно кращий показник ефективності капітальних вкладень при незмінних технічних параметрах [6]. Застосування MVD2000 як пускового та регулюючого пристрою дозволяє досягти таких технічних результатів: зниження максимального пускового струму статора у 5 разів у порівнянні з прямим пуском; зменшення амплітуди динамічних вібрацій системи «електродвигун – насос» у 3-4 рази при пуску; забезпечення плавного наростання обертового моменту при пуску зі зниженням його максимального значення на 20 - 30 %; регулювання частоти обертання в широкому діапазоні 1:10 зі стабілізацією встановленої швидкості з точністю 2 %.

2.4.2 Склад комплектного електропривода на базі MVD2000

Силова схема перетворювача MVD2000 побудована за схемою вентильного електродвигуна. Перетворювач містить у своєму складі керований трифазний випрямляч на тиристорній базі, що живиться безпосередньо від мережі 6 кВ, згладжувальний дросель у ланці постійного струму, а також інвертор струму, підключений до статорних обмоток синхронного електродвигуна насоса. Функціональна схема наведена на рис. 2.5 [6]. Кероване введення в роботу агрегату здійснюється через шафу комутації з трьома вакуумними контакторами. Завдяки такій схемі підключення MVD2000 може бути введений у розрив між існуючим осередком КРУ 6 кВ і синхронним електродвигуном без будь-яких змін в схемі живлення і без потреби в додатковому осередку КРУ, що суттєво спрощує монтаж та знижує загальну вартість впровадження [6].

Живлення силових кіл перетворювача здійснюється від трифазної мережі 6 кВ, 50 Гц. Живлення системи керування MVD2000 – від окремої трифазної мережі 380 В, 50 Гц через спеціально передбачений ізоляційний трансформатор потужністю не більше 63 кВА. Ця схема організації живлення з гальванічною ізоляцією є важливою захисною мірою, яка унеможливлює проникнення перешкод з мережі 6 кВ до малосигнальних кіл мікропроцесорної системи керування. Допустиме відхилення напруги живлення системи керування становить +10 % / -15 % від номінального значення [6].

2.4.3 Функціональна схема електропривода

Функціональна схема перетворювача MVD2000, наведена на рис. 2.5, ілюструє взаємодію всіх підсистем комплектного електропривода. Принцип вентильного двигуна полягає в наступному: система «інвертор струму – синхронний електродвигун» функціонально еквівалентна двигуну постійного струму з незалежним збудженням, в якому роль механічного комутатора

(колектора) відіграє електронний комутатор (інвертор). Це поєднує переваги двигуна постійного струму (широкий діапазон і висока точність регулювання швидкості) з конструктивними перевагами синхронного двигуна (відсутність щіточного контакту, висока надійність, можливість роботи з випереджуючим коефіцієнтом потужності) [6].

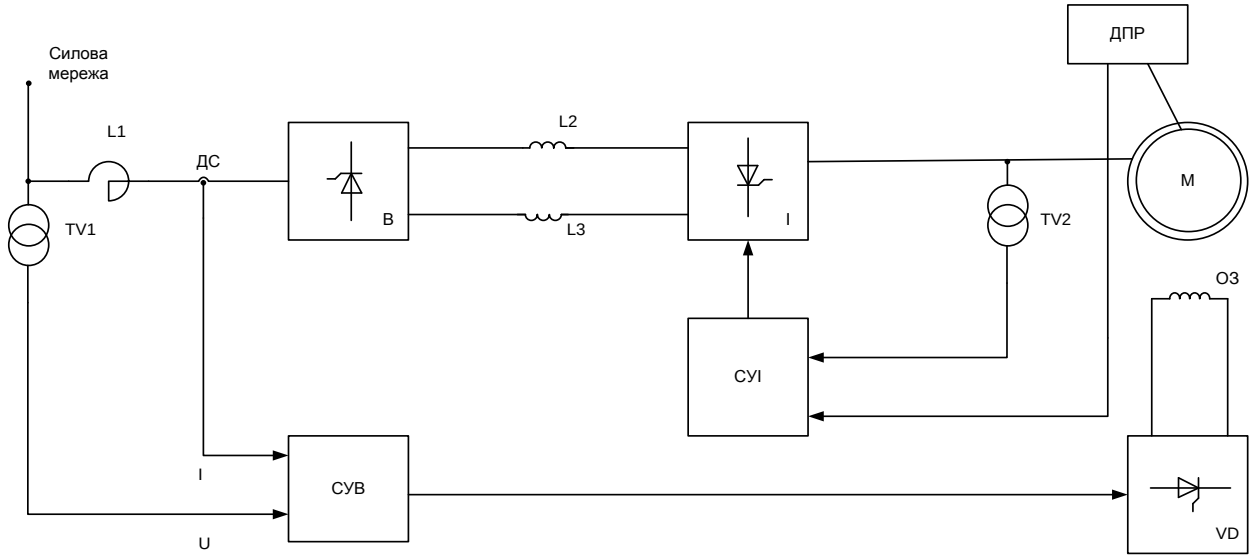


Рис. 2.5. Функціональна схема електропривода MVD2000

(розроблено з використанням [6])

Цифрова мікропроцесорна система керування MVD2000, виконана на базі сигнального процесора серії ADSP-210XX, реалізує сукупність складних функцій управління і захисту: оптимальний алгоритм управління фазними струмами двигуна в процесі пуску і регулювання частоти обертання; режим рекуперативного гальмування з поверненням енергії маховиків насосного агрегату в живильну мережу при зупинці; формування керуючих імпульсів для всіх тиристорних плечей випрямляча та інвертора; систему захистів від усіх аварійних режимів; точну автоматичну синхронізацію двигуна з мережею при перемиканні з режиму «ПЧ» в режим «мережа» [6].

2.4.4 Структурна схема

Система автоматичного регулювання MVD2000 являє собою багатоконтурну підпорядковану структуру, де зовнішній контур регулювання швидкості охоплює внутрішній контур регулювання струму статора. Така ієрархічна будова забезпечує високий динамічний характер регулювання: внутрішній контур струму, маючи значно більшу смугу пропускання, швидко відпрацьовує поточні збурення за навантаженням, тоді як зовнішній контур швидкості забезпечує стаціонарну точність підтримання заданої частоти обертання. Структуру системи керування приводом наведено на рис. 2.6 [6].

Особливу увагу в алгоритмі управління приділено процедурі синхронізації двигуна з мережею. При досягненні підсинхронної швидкості обертання в схему управління підключається контур регулювання кутового положення ротора, який забезпечує виконання умов точної автоматичної синхронізації: відхилення кута між вектором напруги мережі і ЕРС двигуна не повинно перевищувати 10 електричних градусів, а різниця амплітуд цих напруг – 5 % від номінального значення. Лише при одночасному виконанні обох умов система видає команду на підключення двигуна до мережі, що гарантує абсолютно м'який і безударний перехід між режимами живлення [6].

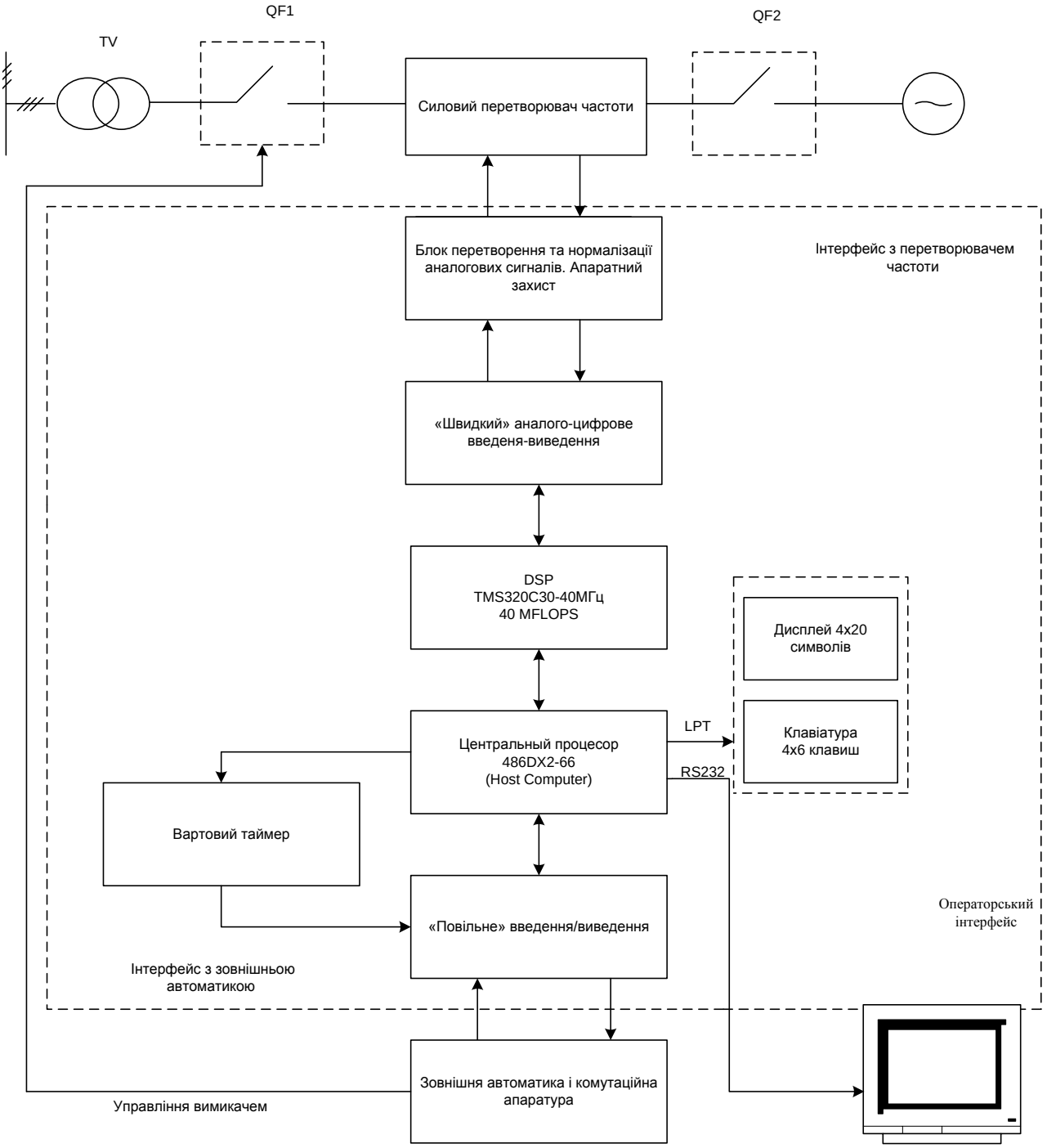


Рис. 2.6. Структура системи керування приводом

(розроблено з використанням [6])

2.4.5 Вибір датчиків системи

Вибір первинних перетворювачів є відповідальним проєктним рішенням, що безпосередньо визначає точність вимірювань і, відповідно, якість автоматичного управління. Для умов ПНС-2, де датчики повинні працювати в середовищі, насиченому вологою, пилом і вібраціями від потужних насосів, головними критеріями відбору є: клас захисту від зовнішніх впливів (не нижче IP65), тип вихідного сигналу, сумісний із модулями введення контролера, достатній діапазон вимірювання та вартість придбання.

Для вимірювання тиску пульпи в напірних трубопроводах проведено порівняльний аналіз двох претендентів, результати якого узагальнено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Порівняльні характеристики датчиків тиску

Параметр	Од. вим.	JUMO 404753	EJX430A
Виробник (країна)	–	JUMO (DE)	Yokogawa (JP)
Вимірювані середовища	–	гази, пари, рідини	рідина, газ, пар
Діапазон вимірювання	МПа	0-60	0-16
Температура оточ. середовища	°C	Від -40 до +85	Від -40 до +85
Вихідний сигнал	мА	4-20	4-20/HART/FF
Наведена похибка	%	0,05	0,04
Ціна, орієнтовна	грн	12 153	12 352

За результатами аналізу за критерієм мінімальної вартості при практично ідентичних технічних характеристиках для вимірювання тиску обрано датчик JUMO 404753 виробництва Moritz Kurt Juchheim GmbH (Німеччина). Цей

датчик характеризується значно більшим, ніж потрібно, верхнім діапазоном вимірювання (60 МПа проти фактичних 1,6-2,0 МПа на виході насосів ПНС-2), що гарантує стовідсоткову захищеність первинного перетворювача від руйнування при гідравлічних ударах і перехідних процесах у трубопроводах – надзвичайно важливий аспект в умовах ПНС [6].

Для вимірювання температури підшипникових вузлів розглянуто три технічно різних рішення, порівняльний аналіз яких наведено в табл. 2.3. Принциповою відмінністю між ними є метод вимірювання: контактні термометри опору типу Pt100 (JUMO 90.2109 та Siemens Sitrans T) вимагають безпосереднього контакту чутливого елемента з поверхнею підшипникового корпусу, що ускладнює монтаж і потребує зупинки обладнання. Безконтактний інфрачервоний датчик VTIR1816 виробництва OMRON (Японія) позбавлений цього недоліку: він вимірює теплове випромінювання з поверхні підшипника на відстані до 10 м, не вимагаючи будь-якого втручання в конструкцію насоса.

Таблиця 2.3

Порівняльні характеристики датчиків температури підшипників

Параметр	Од. вим.	JUMO 90.2109	Sitrans T	VTIR1816
Виробник (країна)	–	JUMO (DE)	Siemens (DE)	OMRON (JP)
Призначення	–	тв. тіла, підшипники	підшипники	безконтактне вимір.
НСХ / принцип	–	Pt100	Pt100	інфрачервоний
Діапазон вимірювання	°C	−50…200	−50…400	10–260
Вихідний сигнал	–	4–20 мА	4–20 мА	RS-485 / 4–20 мА
Клас допуску / похибка	–	B / ≤0,5 °C	B / ≤0,5 °C	±2 °C (2 %)
Ціна, орієнтовна	грн	7800	6460	5076

За сукупністю критеріїв – безконтактний метод вимірювання, найнижча вартість серед розглянутих альтернатив і цифровий вихід RS-485 – обрано датчик VTIR1816 виробництва OMRON (Японія). Детальні технічні характеристики цього датчика наведено в табл. 2.4, а його зовнішній вигляд – на рис. 2.7. На рис. 2.8 показано деталювання насоса Warman, що ілюструє конструкцію підшипникового вузла, температурний контроль якого є завданням датчика VTIR1816.

Таблиця 2.4

Технічні характеристики датчика VTIR1816 [7]

№	Найменування	Од. вим.	Значення
1	Виробник (країна)	–	OMRON (JP)
2	Відстань до об'єкта вимірювання	м	10
3	Спектральна смуга чутливості	μm	8-14
4	Основна похибка	°C (%)	±2 (2)
5	Час відгуку	мс	250-500
6	Напруга живлення	В	18-30
7	Аналоговий вихід	мА	4-20
8	Цифровий вихід	–	SPI, RS-485, I2C, RS-232, ШІМ
9	Кліматична стійкість	°C	-30…+60
10	Клас захисту	–	IP65
11	Діапазони вимірюваних температур	°C	10-70; 60-120; 115-165; 140-260



Рис. 2.7. Зовнішній вигляд датчика VTIR1816 [7]

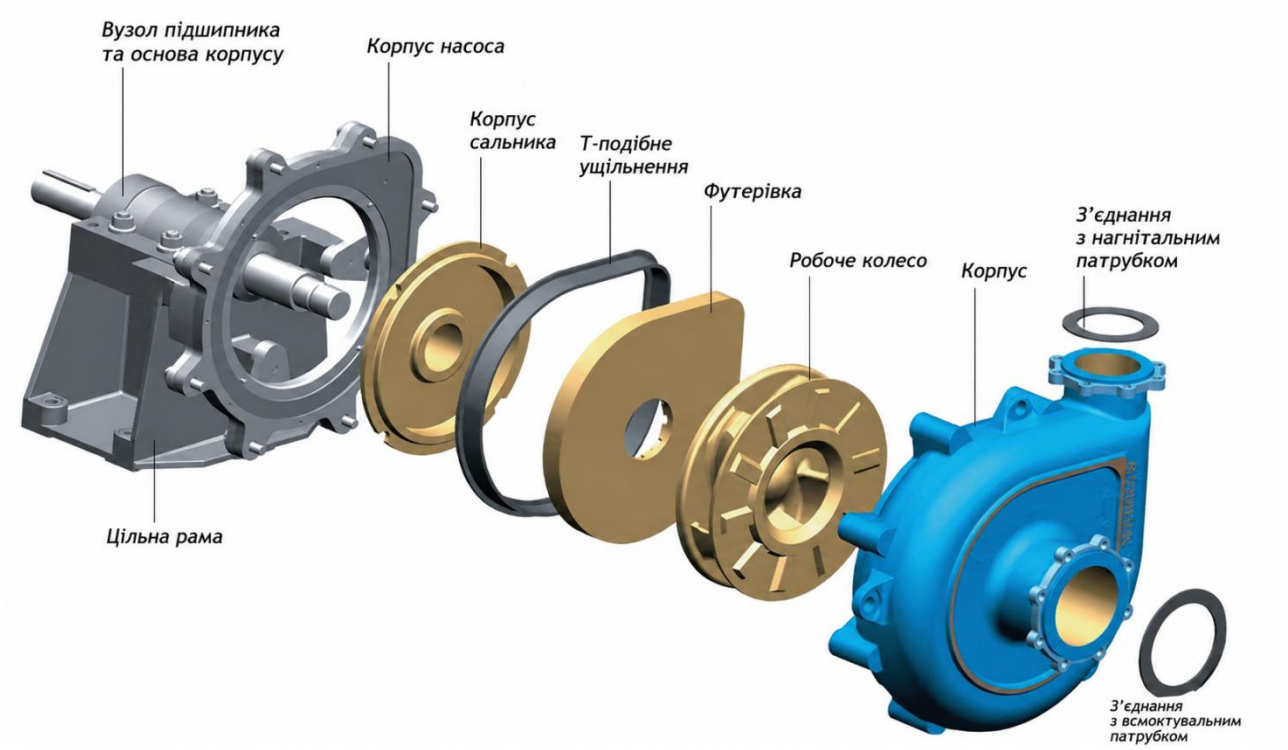


Рис. 2.8. Деталювання насоса Warman [8]

Для вимірювання вібрації підшипникових вузлів проведено аналіз трьох типів перетворювачів (табл. 2.5). Специфіка вибору для умов ПНС-2 полягає в тому, що датчик повинен забезпечити стійке вимірювання середньоквадратичного значення швидкості вібрації в умовах значних фонових вібрацій від суміжних насосних агрегатів, що вимагає хорошої структурної вибірковості.

Таблиця 2.5

Порівняльні характеристики датчиків вібрації

Характеристика	Од.вим.	Hauber 640	VSA001 (IFM)	MMF RSI 80
Виробник (країна)	–	Hauber (DE)	IFM Electronic (DE)	MMF (DE)
Діапазон виброшвидкості	мм/с	0-10	2-25	0,2-25
Гарантійний строк	рік	3	2	2
Температура оточ. середовища	°C	−40…+85	−30…+125	−40…+100
Основна наведена похибка	%	2	4	2
Вихідний сигнал	мА	4-20	0-10	4-20
Вартість	грн	11200	6200	10500

Незважаючи на дещо вищу похибку (4 % проти 2 % у конкурентів), датчик Efector octavis VSA001 виробництва IFM Electronic (м. Ессен, Німеччина) обраний за критерієм суттєво нижчої вартості при задовільному класі точності для задач моніторингу вібраційного стану і попереджувальної діагностики. Вбудований мікропроцесор датчика VSA001 виконує первинну обробку вібросигналу та перетворює його в стандартний струмовий вихід, пропорційний середньоквадратичному значенню швидкості вібрації, що спрощує підключення до модулів АЦП контролера [6].

Витратомір моделі DMDF – D

Принцип дії: ультразвуковий, із використанням зовнішніх (накладних) датчиків. Це дає змогу виконувати вимірювання без пошкодження стінки трубопроводу та без зупинки технологічного процесу.

Переваги безконтактного вимірювання:

Оскільки датчики не взаємодіють із середовищем, прилад можна застосовувати для агресивних і високозабруднених рідин із температурою до +200°C.

Похибка вимірювань для моделі DMDF-D – не більше ніж 2% від ВЕРБ. Завдяки цьому придатний для комерційного та оперативного обліку пульпи, стічних вод, а також для швидкої перевірки вже змонтованих лічильників витрати. Доплерівська технологія забезпечує стабільні показники навіть у складних умовах експлуатації.

Швидкознімні хомути з нержавіючої сталі спрощують фіксацію датчиків на трубі. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс дає змогу налаштувати прилад за кілька хвилин. Система автоматично підказує потрібну відстань між датчиками, а індикація рівня та якості сигналу допомагає досягти максимальної достовірності даних.

Витратомір виготовляється під постачання ЧП «ДОНБАС СПЕЦПРИБОР» (м. Харків) згідно з ISO 9000 та має сертифікат CE. Модель DMDF3 пройшла випробування в діапазоні температур навколишнього середовища від –40°C до +55°C. Завдяки накладним датчикам можна вимірювати витрату середовища з температурою понад +120°C (максимально – +200°C).

Середній наробіток на відмову – 150 000 годин. Гарантійний термін – 12 місяців.

DMDF-B оснащено кількома типами виходів для підключення до систем автоматизації:

- струмовий 4–20 мА (передає швидкість потоку);
- послідовний канал (швидкість потоку, миттєву та накопичену витрату);
- релейний вихід (для функції дозування).

Комплектація поставки:

- витратомір;
- накладні датчики з кабелем 8 м (можливе замовлення до 30 м);
- хомути з нержавіючої сталі;

– силіконовий гель;

– технічна документація.

Технічні характеристики витратоміру моделі DMDF – D наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

№	Параметр	Од. вим.	Величина
1	Похибка вимірювань (не більше)	%	2
2	Діапазон вимірювання швидкості потоку	м/с	0,15…6,08
3	Діапазон внутрішніх діаметрів труб	мм	40…4000
4	Матеріали труб	–	будь-які (метал, пластик, бетон тощо)
5	Максимальна температура контрольованого середовища	°С	+200
6	Діапазон температури навколишнього середовища (робочий)	°С	–40…+55
7	Автоматичне налаштування датчиків	–	так
8	Вимірювані параметри (відображення)	–	швидкість, миттєва витрата, сумарна витрата
9	Реєстрація напрямку потоку	–	двонапрямковий
10	Вихідні сигнали	–	4…20 мА, RS-485
11	Довжина кабелю датчиків (стандарт / опція)	м	8 / до 30
12	Середній наробіток на відмову	год	150 000
13	Гарантійний період	міс	12
14	Відповідність стандартам	–	ISO 9000, сертифікат CE

Ультразвуковий далекомір-рівнемір УРВН-3 (виробник: ТОВ «ПО «УКРСПЕЦКОМПЛЕКТ», Харків) використовується для контролю рівня пульпи в прийомних зумпфах ПНС. Прилад реалізує акустичний ехолокаційний принцип: вимірювання засновано на визначенні часу пробігу акустичного імпульсу від випромінювача до поверхні пульпи і назад. Технічні характеристики рівнеміра наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Технічні характеристики ультразвукового рівнеміра УРВН-3 [9]

№	Параметр	Од. вим.	Величина
1	Виробник (країна)	–	УКРСПЕЦКОМПЛЕКТ (UA)
2	Діапазон вимірювання рівня	м	0,5-40,0
3	Похибка вимірювань (не більше)	%	±5
4	Струмовий вихід	мА	0-20
5	Напруга живлення	В	220 ±10 %, 50 Гц
6	Споживана потужність	Вт	≤100
7	Термін служби	років	10

Для вимірювання щільності пульпи стандартним технічним рішенням в умовах трубопровідних гідротранспортних систем є радіоізотопний щільномір. Його принципові переваги – безконтактність вимірювання, не залежна від абразивних властивостей пульпи точність і висока надійність – роблять цей тип приладів незамінним на об'єктах гірничозбагачувальної промисловості. Для ПНС-2 обрано щільномір ПРИЗ-Т (рис. 2.9) виробництва ТОВ «НПП ТЕТРА» (м. Харків), що повністю виготовляється на території України і має стандартні аналогові та цифрові виходи для підключення до системи збирання даних [10].



Рис. 2.9. Радіоізотопний щільномір ПРИЗ-Т [10]

Технічні характеристики щільноміра наведено в табл. 2.8.

Таблиця 2.8

Технічні характеристики щільноміра ПРИЗ-Т [10]

№	Параметр	Од. вим.	Величина
1	Виробник (країна)	–	НПП ТЕТРА (UA)
2	Діапазон вимірювання щільності рідин	кг/м3	0–3000
3	Абсолютна похибка	кг/м3	±0,02
4	Частота вимірювань	Гц	1000
5	Аналоговий вихід	мА	4-20; 0 -20
		В	0-5
6	Послідовний інтерфейс	–	RS-485 / RS-422
7	Напруга живлення	В	187–242 (~)

2.4.6 Вибір силових контакторів

У прийнятій схемі електропривода роль перемикаючих елементів між режимами «живлення від ПЧ» і «живлення від мережі» відіграють високовольтні електромагнітні контактори. Саме на них покладена відповідальна функція безударної комутації статорних кіл синхронних двигунів під час перехідних процесів. В електроустановках 6–10 кВ сучасним стандартом є застосування вакуумних або електромагнітних контакторів замість морально застарілих автогазових вимикачів навантаження, що мають обмежене число відключень номінального струму і недостатню електродинамічну стійкість при наскрізних КЗ [11].

Для реалізації схеми управління (рис. 2.2) обрано електромагнітний контактор К2-6 (рис. 2.10), розрахований на номінальну напругу 6 кВ і номінальний струм 400 А. Контактор забезпечує відключення струму КЗ до 4,2 кА при піковому значенні 8 кА і розрахований на 106 операцій вмикання-вимикання – показник, що відображає виняткову довговічність вакуумної дугогасильної камери в умовах частих комутацій при пуску насосів. Конструктивно контактор складається з трьох полюсів на ізоляційних рейках та електромагнітного привода; управління здійснюється дистанційно від контролера по ланцюгу оперативного постійного струму [12].

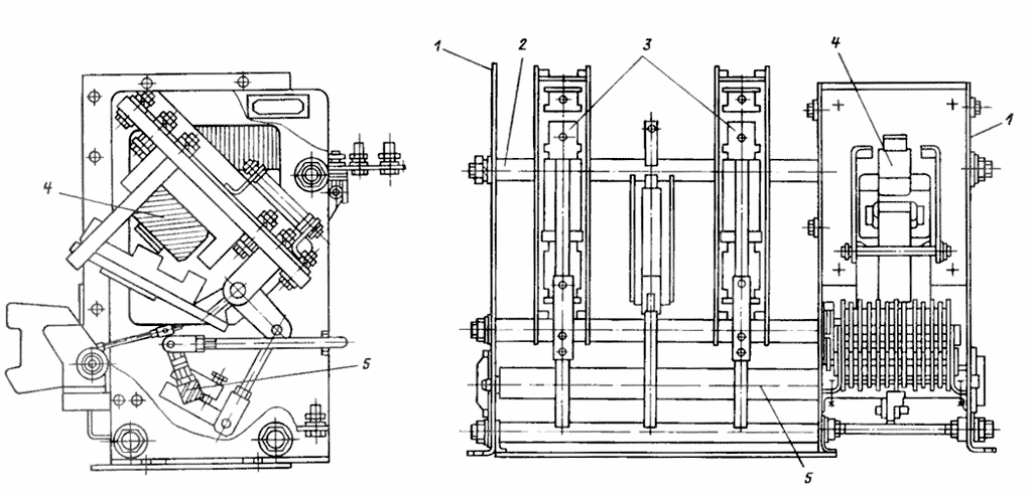


Рис. 2.10. Електромагнітний контактор К2-6 [12]

2.5 Компонування управляючого обчислювального комплексу (УОК)

2.5.1 Вибір контролера керування

Вибір мікропроцесорних засобів для реалізації функцій управління і захисту АСУ ТП ПНС-2 виконувався на підставі комплексної оцінки технічних вимог і економічних обмежень проєкту. Серед ключових вимог необхідно виокремити наступні: необхідна кількість і тип каналів введення-виведення відповідно до складу датчиків (табл. 2.1); максимальна необхідна частота опитування аналогових каналів – 25 Гц (визначена в п. 2.2.3); умови навколишнього середовища приміщення розміщення засобів керування – підвищені температура, вологість, запиленість і вібрація; необхідність підтримки інтерфейсу RS-485/Modbus RTU та адекватна вартість.

Порівняльний аналіз продукції провідних виробників промислових контролерів – Siemens (S7-300/400), ABB, OMRON та ICP DAS – показав, що при практично ідентичних технічних параметрах засоби тайванської компанії ICP DAS є у 3–5 разів економічно доступнішими. Вагомим додатковим аргументом на користь цього вибору є наявність задокументованих успішних прикладів застосування ICP DAS у складних промислових умовах гірничої промисловості Криворіжжя – зокрема, на кар'єрних екскаваторах і випробувальних стендах підприємства [13, 14]. Таким чином, за сукупністю критеріїв обрано промисловий контролер ICP DAS I-8411-G (рис. 2.11) [15].



Рис. 2.11. Промисловий контролер ICP DAS I-8411-G [15]

Контролер ICP DAS I-8411-G є компактним модульним пристроєм на базі 80188-сумісного процесора з тактовою частотою 40 МГц. Об'єм оперативної пам'яті (до 512 кБ) і незалежна Flash-пам'ять (512 кБ) забезпечують достатній ресурс для зберігання виконуваної програми і невеликого локального архіву. Чотири слоти розширення в єдиній локальній шині процесора дозволяють довільно набирати конфігурацію модулів введення-виведення відповідно до конкретних потреб задачі. Послідовні порти (2×RS-232, RS-485) забезпечують підключення GSM-модема і зв'язок з датчиками та ПЧ по протоколу Modbus RTU. Гальванічна ізоляція ланцюга живлення (3000 В) захищає електроніку контролера від перешкод від потужного силового обладнання насосної. Середнє напрацювання на відмову (MTBF) становить 70 000 год, що свідчить про достатній рівень надійності для безперервного виробництва [15].

2.5.2 Вибір модулів введення/виведення сигналів

Визначений у п. 2.3 склад датчиків і виконавчих механізмів формує вимоги до модульного складу управляючого обчислювального комплексу. Для підключення аналогових датчиків тиску і рівня (10 каналів з вихідним сигналом 4–20 мА) застосовується модуль аналогових входів I-8017H серії ICP DAS. Цей модуль має 16 диференціальних аналогових входів з програмним перемиканням діапазонів, розрядністю АЦП 14 біт і часом повного циклу перетворення 0,85 мс – що забезпечує необхідну швидкодію 25 Гц. Гальванічна ізоляція вхідних кіл від шини контролера (3 кВ) є обов'язковою умовою захисту при можливих замиканнях в польових ланцюгах. Для роботи з дискретними входами (сигнали стану контакторів – 16 каналів) і видачі керуючих команд на котушки контакторів (16 виходів) використовується модуль дискретного введення-виведення I-8042W. Напруга гальванічної ізоляції 3750 В забезпечує надійне розділення між силовими і сигнальними ланцюгами. Команди управління перетворювачем частоти контролер передає по послідовному інтерфейсу RS-485 відповідно до регістрової карти Modbus RTU перетворювача MVD2000.

2.5.3 Вибір джерела живлення

Для живлення низьковольтних кіл системи управління необхідне надійне стабілізоване джерело живлення напругою 24 В постійного струму. Виходячи з вимог щодо надійності та широкого діапазону вхідної напруги мережі, обрано промислове джерело живлення MEAN WELL MDR-60-24 виробництва MEAN WELL Enterprises Co. Ltd. (Тайвань). Цей виробник є одним зі світових лідерів у галузі промислових блоків живлення і широко представлений в автоматизованих системах управління промислових підприємств України. Технічні характеристики обраного джерела живлення наведено в табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Технічні характеристики промислового джерела живлення MEAN WELL MDR-60-24 [16]

Найменування показника	Розмірність	Значення
Виробник (країна)	–	MEAN WELL (TW)
Діапазон вхідної напруги	В	85-264 (AC), 47-63 Гц
Номінальна вихідна потужність	Вт	60
Номінальна вихідна напруга (DC)	В	24
Номінальний вихідний струм	А	2,5
Пульсації вихідної напруги	мВ	≤ 200
ККД	%	≥ 86
Діапазон робочих температур	°С	−20…+70
Ступінь захисту від зовн. впливів	–	IP20

2.5.4 Вибір робочої станції

Верхній рівень автоматизованої системи управління ПНС-2 реалізовано на базі панельного програмованого контролера ОВЕН СПК107 (виробник: ТОВ «Компанія «ОВЕН», Харків, Україна). Вибір цього пристрою обумовлений його унікальним поєднанням функцій ПЛК (виконання прикладних програм управління), SCADA-системи (ведення архіву, відображення мнемосхем, журналювання подій) і панелі оператора (сенсорний кольоровий дисплей для людино-машинного інтерфейсу) в єдиному захищеному корпусі промислового виконання [17]. Цей підхід суттєво спрощує системну інтеграцію і знижує загальну вартість обладнання верхнього рівня порівняно із традиційним рішенням на базі окремого промислового ПК і окремої сенсорної панелі.

СПК107 оснащений широким спектром комунікаційних інтерфейсів, що забезпечує гнучкість при інтеграції з усіма рівнями системи: Ethernet для можливого підключення до корпоративної мережі підприємства, три порти RS-485 для зв'язку з контролером нижнього рівня ICP DAS, два порти RS-232, порти USB та слот для SD-картки. Програмування виконується у середовищі CODESYS V3.5 – міжнародному стандарті de facto для програмування промислових контролерів, – що гарантує доступність кваліфікованих фахівців для подальшого обслуговування і модернізації системи. Вбудована підтримка web-візуалізації дозволяє за необхідності відображати мнемосхеми процесу на будь-якому пристрої через стандартний веб-браузер [17]. Зв'язок між контролером нижнього рівня і СПК107 організовано по протоколу RS-485: диференційний спосіб передачі сигналу між лініями Data+ і Data– забезпечує стійку передачу даних на відстані до кількох сотень метрів в умовах значних електромагнітних завад від силового обладнання насосної.



Рис. 2.12. Загальний вигляд СПК107, [17]

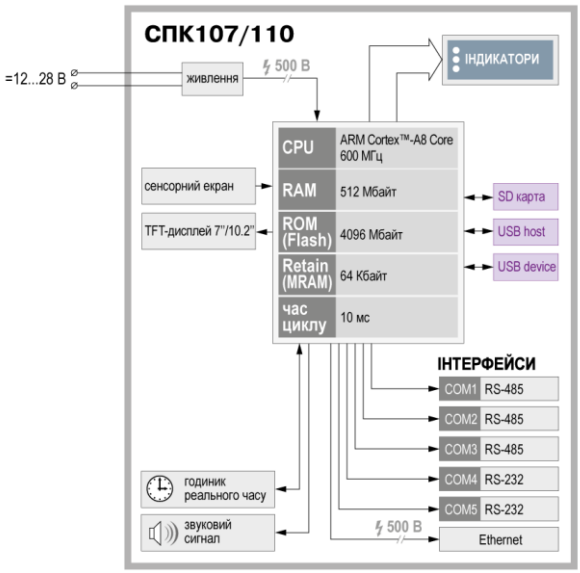


Рис. 2.13. Функціональна схема СПК107, [17]

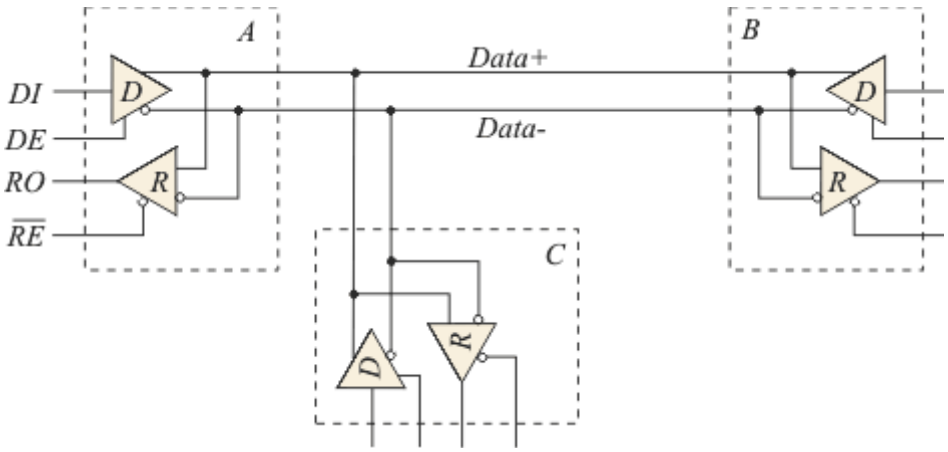


Рис. 2.14. З'єднання трьох пристроїв з інтерфейсом RS-485, [17]

2.6 Розробка принципової схеми системи

Принципова схема системи управління насосами ПНС-2 наведена на рис. 2.15. В основу схеми покладено принцип спільного використання одного перетворювача частоти для обслуговування всіх насосних агрегатів через комутуючі контактори. Технічна реалізація: вісім високовольтних контакторів К2-6 утворюють матрицю комутації, яка дозволяє за командами контролера з'єднувати вхід і вихід ПЧ з будь-яким з насосних двигунів, а також підключати двигун до мережі, минаючи ПЧ. Це забезпечує реалізацію режимів: плавний запуск довільного насоса від ПЧ з наступним переключенням в мережу; постійне регулювання швидкості одного агрегату від ПЧ для підтримки заданого тиску в магістралі; одночасна робота кількох насосів, де одні живляться від мережі, а один регулюється ПЧ [6].

Особливістю схеми є відсутність електрифікованих засувок на напірних патрубках насосів – функцію безударного введення і виведення агрегату з роботи повністю бере на себе ПЧ через плавне наростання і зниження частоти обертання. Це рішення не лише зменшує перелік обладнання і спрощує схему, але й позбавляє від потреби обслуговування ще однієї категорії виконавчих механізмів в умовах абразивного середовища. Для фіксації факту включення кожного контактора в схемі передбачено підключення до контролера дискретних сигналів від блок-контактів відповідних апаратів.

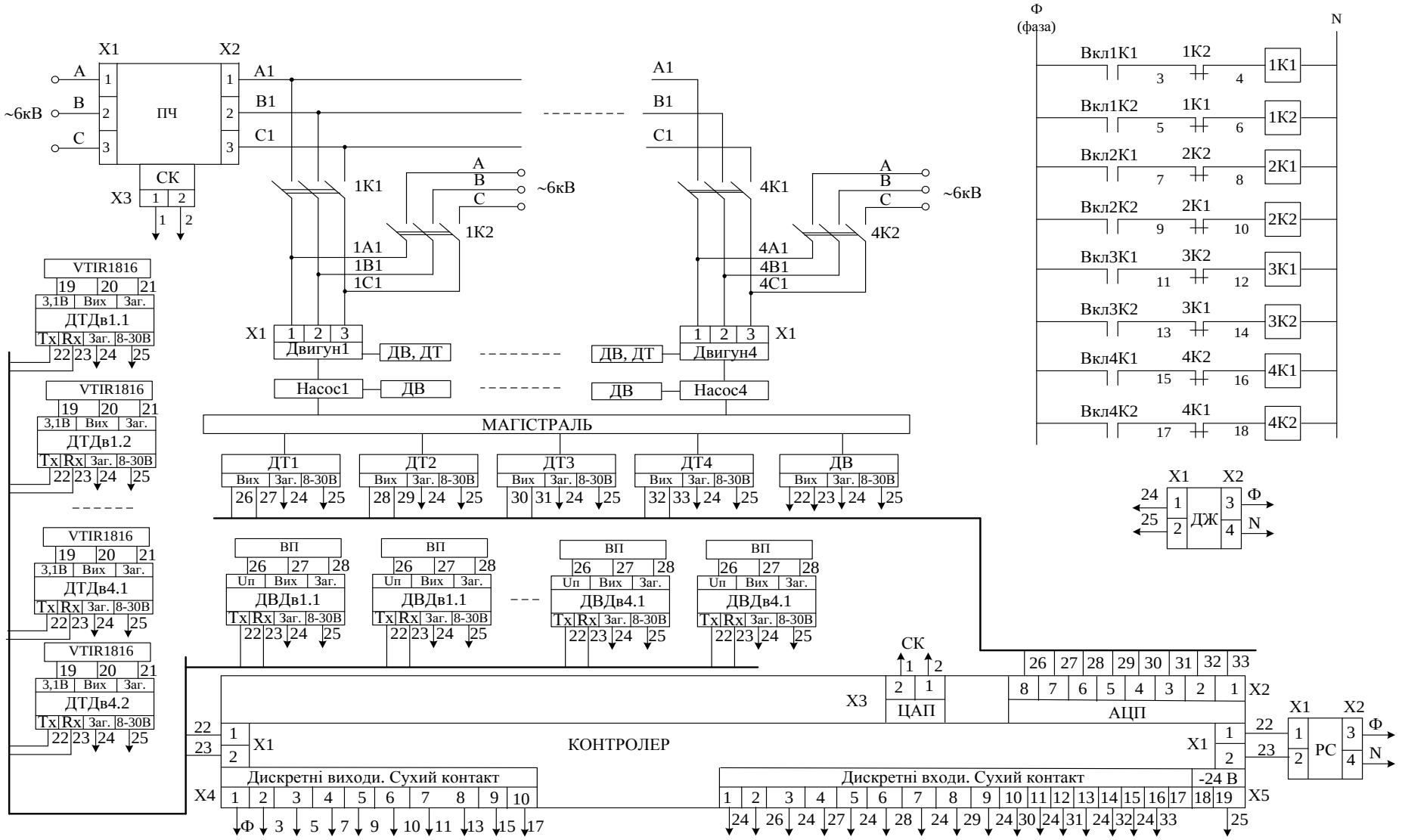


Рис. 2.15. Схема електрична принципова керування насосами

(розроблено автором)

2.7 Блок-схема алгоритму керування

На рис. 2.16 наведено розроблену автором блок-схему алгоритму керування групою насосів і стабілізації тиску в магістральному пульповоді. Алгоритм реалізує повний цикл: від перевірки готовності обладнання до введення в роботу всіх агрегатів і підтримання заданого тиску.

1. Початкова перевірка готовності обладнання. Алгоритм починається з операторів Оп.1 та Оп.2, які послідовно контролюють стан масляних вимикачів і високовольтних контакторів (включено/вимкнено). Якщо хоча б один елемент перебуває в некоректному стані, спрацьовує Оп.6 – фіксація факту неготовності, і подальший запуск блокується.

2. Контроль рівня пульпи перед запуском насоса 1. Після підтвердження готовності виконується Оп.3 – перевірка достатності рівня пульпи для запуску першого насоса. У разі недостатнього рівня Оп.4 фіксує цю подію. За нормального рівня Оп.5 подає команду на включення контактора КМ4 і запам’ятовує момент часу подачі команди.

3. Контроль спрацювання КМ4 та обробка аварій. Через Оп.7 встановлюється факт спрацювання КМ4. Оп.8 виконує допустимий контроль часу спрацювання. Якщо протягом заданого інтервалу КМ4 не ввімкнувся, Оп.9 фіксує «Аварію 3» (відмова КМ4).

4. Плавний розгін насоса 1. Після успішного ввімкнення КМ4 Оп.10 видає команду на розгін насоса 1 у режимі плавного запуску через перетворювач частоти (ПЧ). Оп.11 здійснює допустимий контроль часу розгону. Оп.12 перевіряє величину тиску в трубопроводі насоса 1. Якщо тиск відсутній або недостатній, Оп.13 реєструє «Аварію 4» з можливими причинами: відмова ПЧ, відмова датчика тиску Тис1 або порив трубопроводу.

5. Фіксація витрати та щільності. Після стабілізації режиму Оп.14 приймає показання витратоміра (В) у комірку $\alpha 1$, а Оп.15 – показання щільноміра (Щ1) у комірку $\beta 1$. Оп.16 виконує перевірку щільності пульпи. Залежно від отриманого значення Оп.17 та Оп.18 видають команди на засувки

пульпопроводів (ПУЛЬПОПРОВІД 1 або ПУЛЬПОПРОВІД 2), спрямовуючи пульпу різної щільності у відповідне хвостосховище.

6. Включення насоса 1 до мережі та відключення ПЧ. Оп.19 подає команду на включення контактора КМ1 із запам’ятовуванням моменту часу. Оп.20 встановлює факт спрацювання КМ1, Оп.21 контролює час спрацювання, а Оп.22 фіксує «Аварію 4» (відмова КМ1). Після успішного ввімкнення КМ1 Оп.23 видає команду на відключення ПЧ від першого насоса.

7. Запуск насоса 3 (окрема підпрограма). Далі алгоритм викликає Оп.24 – підпрограму включення в роботу насоса 3, який після плавного запуску залишається підключеним до ПЧ і надалі використовується для регулювання тиску шляхом зміни частоти обертання.

8. Запуск насоса 2. Аналогічно до першого насоса, Оп.25 перевіряє достатність рівня пульпи для насоса 2. У разі недостатності Оп.26 фіксує «Аварію 8». Оп.27 подає команду на включення контактора КМ5, Оп.28 встановлює факт спрацювання, Оп.29 контролює час, Оп.30 фіксує «Аварію 9» при відмові КМ5.

Оп.31 дає команду на розгін насоса 2, Оп.32 контролює час розгону, Оп.33 перевіряє тиск у трубопроводі насоса 2, а Оп.34 реєструє «Аварію 10» (відмова ПЧ, датчика Тис2 або порив).

Оп.35 приймає показання витратоміра в комірку $\alpha 2$, Оп.36 – показання щільноміра П2 у комірку $\beta 2$. Оп.37 перевіряє щільність, після чого Оп.38 та Оп.39 видають команди на засувки пульповодів згідно з виміряною щільністю.

9. Регулювання тиску в магістралі. Після запуску всіх трьох насосів алгоритм переходить до безперервної стабілізації тиску.

Оп.40 приймає показання датчика тиску Тис2. Оп.41 порівнює отримане значення із заданою величиною (Тисзад). Далі, залежно від відхилення:

– якщо тиск перевищує заданий, Оп.42 видає команду на зменшення частоти обертання двигуна насоса 2 на величину Δf із фіксацією часу подачі команди. Оп.43 витримує паузу для оцінки реакції привода. Оп.44 перевіряє: чи тиск зменшився? Якщо ні – логіка повертається до порівняння.

– якщо тиск нижчий за заданий, Оп.45 видає команду на збільшення частоти на Δf, Оп.46 витримує паузу, а Оп.47 визначає факт досягнення тиском заданої величини.

10. Збір даних та передача на робочу станцію

Оп.48 виконує знімання та запам’ятовування показань усіх датчиків (витратоміра – комірки α, щільноміра – β, рівнеміра – λ, тиску – Λ). За запитом Оп.49 та Оп.50 передають накопичені дані на робочу станцію (РС).

Умовні позначення до рис. 2.16:

ПЧ – перетворювач частоти;

В – показання витратоміра;

α – комірки (αі … αі+6) для зберігання показань витратомірів;

Пульповод1, Пульповод2 – трубопроводи для транспортування пульпи різної щільності;

Тисзад – задана величина тиску;

f – вихідна частота ПЧ;

Δf – крок зміни частоти;

Tf – момент часу видачі керуючого впливу на зміну частоти;

Щі – показання щільноміра пульпи;

β – комірки (βі … βі+6) для показань щільномірів;

Ріві – показання рівнемірів;

λ – комірки (λі … λі+6) для показань рівнемірів;

Тисі – показання датчиків тиску;

Λ – комірки (Λі … Λі+6) для показань датчиків тиску;

РС – робоча станція.

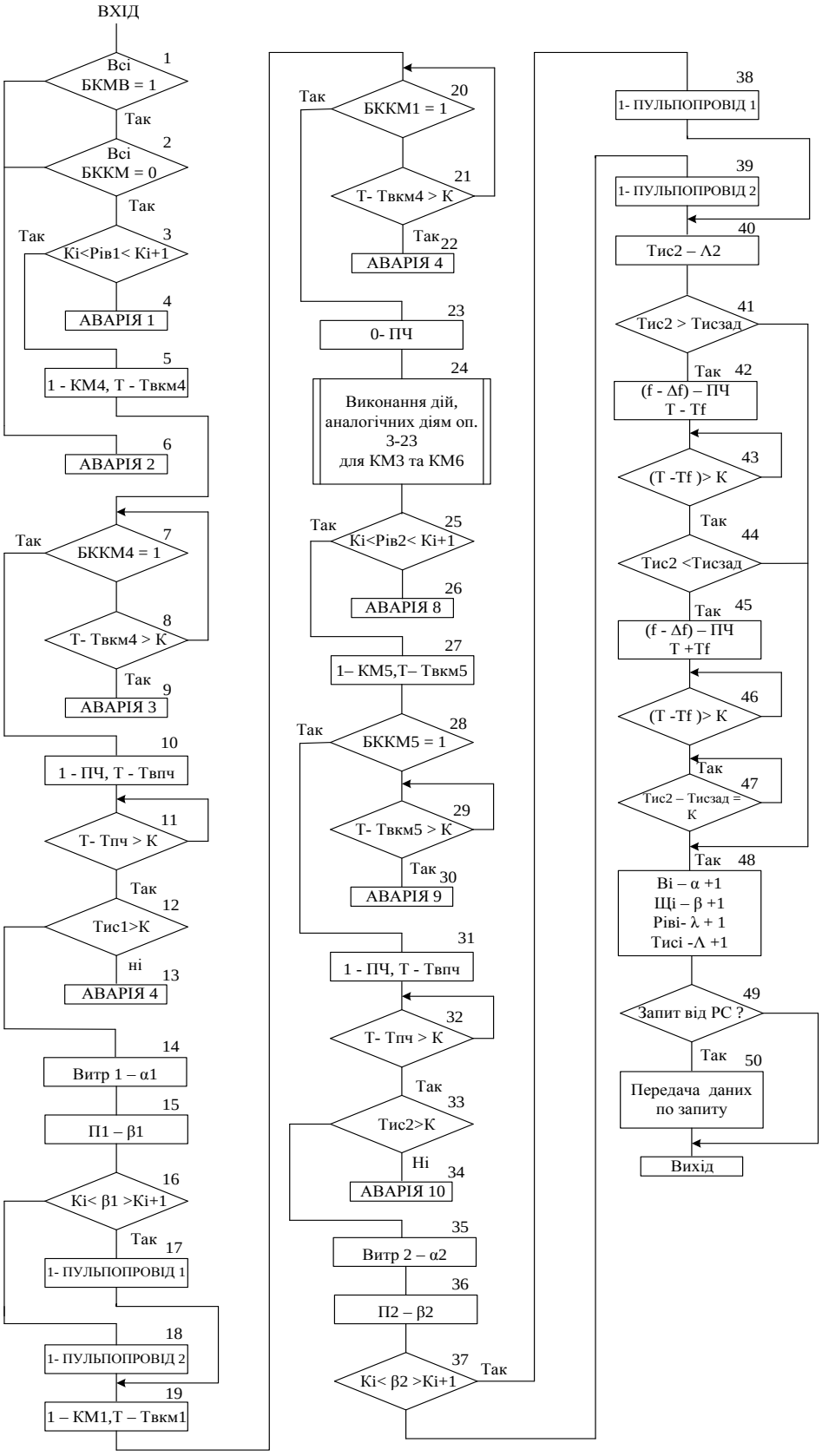
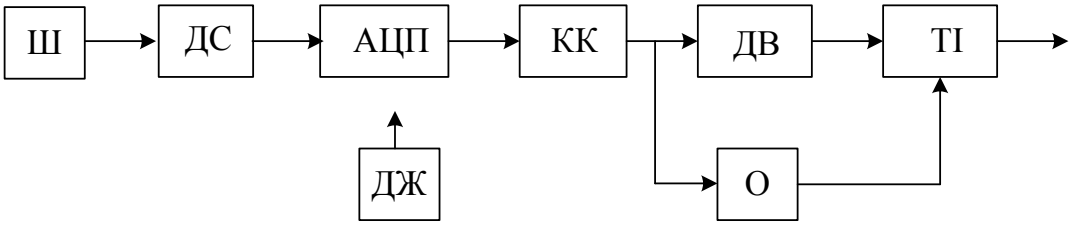


Рис. 2.16. Блок-схема алгоритму запуску трьох насосів та регулювання тиску

(розроблено автором)

2.8 Розрахунок показників надійності

Розрахунок показників надійності виконано для одного з найбільш складних і відповідальних функціональних блоків системи – перетворювача частоти, – оскільки відмова ПЧ зупиняє весь процес послідовного запуску насосів і автоматичного регулювання тиску. Розрахункова модель базується на гіпотезі послідовного з'єднання елементів (відмова будь-якого елемента рівнозначна відмові всього блоку), що є обґрунтованим консервативним припущенням для апаратури такого класу.



Розшифровка умовних позначень:
Ш – шунт у фазі виходу інвертора
ДС – датчик струму шунта
АЦП – аналогово - цифровий перетворювач
КК – контролер керування
ДВ – діод випрямляча
О – оптопара
ТІ – транзистор інвертора
ДЖ – джерело живлення

Рис. 2.17. Коло послідовно ввімкнених вимірюючих, керуючих і силових елементів перетворювача частоти

(розроблено автором)

Перелік елементів кола та їхні показники надійності наведено в табл. 2.10.

Таблиця 2.10

Характеристика елементів ланцюга надійності перетворювача частоти [18]

№	Елемент ланцюга	Серед. наробіток на відмову, год	Інтенс. відмов λ, 10-5 1/год
1	Джерело живлення системи керування	32000	0,09
2	Шунт (вимірювальний резистор)	99000	0,35
3	Датчик струму (холлівський)	12000	0,30
4	АЦП мікропроцесорної системи	80000	0,01
5	Контролер управління (CPU)	55000	0,03
6	Діод силового випрямляча	100000	0,021
7	Оптопара формувача імпульсів	120000	0,020
8	Транзистор (IGBT) інвертора	160000	0,001
9	Дросель (фільтровий)	35000	0,05

Сумарна інтенсивність відмов послідовного колаа елементів визначається як сума інтенсивностей відмов кожного компонента:

$$\lambda_{\Sigma} = (0{,}09+0{,}35+0{,}30+0{,}01+0{,}03+0{,}021+0{,}020+0{,}001+0{,}05)\times 10^{-5} =$$

$$= 0{,}872\times 10^{-5}\ 1/\text{год} \qquad (2.5)$$

Середній час безвідмовної роботи (МТБФ) перетворювача частоти як системи:

$$T_0 = 1 / \lambda_{\Sigma} \approx 114\ 700\ \text{год} \approx 11\ \text{років} \qquad (2.6)$$

Ймовірність безвідмовної роботи за довільний час t визначається формулою Пуассона:

$$P(t) = e^{(-\lambda\Sigma \cdot t)} \qquad (2.7)$$

Результати розрахунку P(t) для ряду характерних значень часу роботи наведено в табл. 2.11.

Таблиця 2.11

Залежність імовірності безвідмовної роботи P(t) від напрацювання

t, год	0	2×104	4×104	6×104	8×104	1×105
λΣ·t	0	0,176	0,352	0,528	0,704	0,880
P(t)	1,00	0,84	0,70	0,59	0,49	0,41

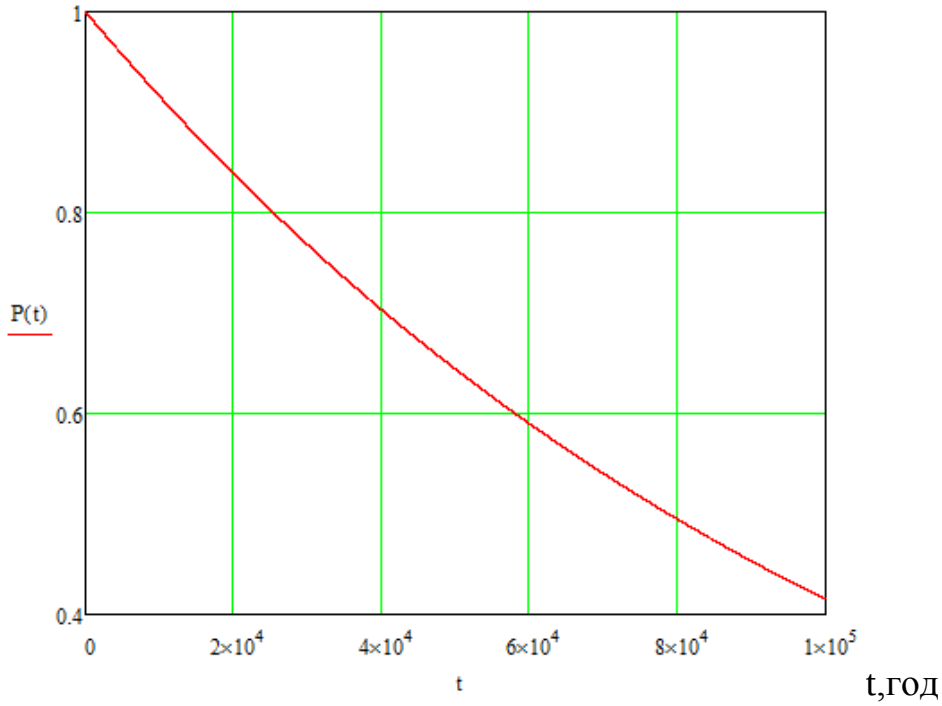


Рис. 2.18. Залежність імовірності P(t) безвідмовної роботи каналу виміру струму

(розроблено автором)

Таким чином, розрахунок свідчить про те, що наробіток на відмову перетворювача частоти в умовах ПНС-2 становить близько 11 років (114 700 год). Ймовірність безвідмовної роботи протягом двох років (≈17 500 год) становить близько 0,86, що є цілком прийнятним показником для промислового обладнання даного класу. Водночас реальна надійність визначається не лише середнім наробітком, а й якістю технічного обслуговування, дотриманням умов навколишнього середовища та своєчасністю планово-попереджувального ремонту – тому в системі передбачена функція автодіагностики і сигналізації про передаварійні стани ПЧ.

2.9 Заходи з охорони праці та безпеки

Розроблена АСУ ТП ПНС-2 функціонує у виробничому середовищі, яке характеризується поєднанням кількох груп небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Цех шламового господарства відноситься до категорії виробництв підвищеного ризику, і впровадження нової системи автоматизації само по собі є суттєвим заходом з охорони праці: дистанційне управління і автоматичний моніторинг скорочують перебування персоналу в зонах з несприятливими умовами. Технологічні процеси і устаткування відповідають вимогам [19].

2.9.1 Аналіз шкідливих і небезпечних чинників в умовах ПНС-2

Аналіз умов праці в приміщенні машинного залу ПНС-2, виконаний на підставі [19], дозволив виявити основні шкідливі і небезпечні виробничі фактори, що визначають рівень виробничого ризику для оперативного і обслуговуючого персоналу.

Акустичне та вібраційне навантаження від потужних насосів і електроприводів є найбільш систематичним шкідливим фактором. Основними джерелами шуму є гідравлічний шум у пульповодах (особливо інтенсивний при

кавітаційних режимах), механічний шум від роторів насосів і електродвигунів, а також аеродинамічний шум від систем охолодження. Загальний рівень шуму в машинному залі без спеціальних захисних заходів досягає 85–95 дБА при санітарній нормі 80 дБА. Мікроклімат приміщення суттєво відхиляється від норми: тепловіддача від потужних електродвигунів підвищує температуру повітря до 29–33 °C при нормі 17–24 °C, а відносна вологість зростає до 65–75 % при нормі 40–60 %. Перелік основних шкідливих виробничих факторів із нормативними і фактичними значеннями наведено в табл. 2.12.

Таблиця 2.12

Шкідливі фактори трудового процесу в умовах ПНС-2 [19]

Фактор виробничого середовища	Од. вим.	Нормативне значення	Фактична величина
Шум	дБА	80	85-95
Температура повітря	°C	17-24	29-33
Швидкість руху повітря	м/с	0,3	0,1-0,3
Відносна вологість повітря	%	40-60	65-75
Загальна вібрація	дБ	101	99-105
Освітленість робочих місць	лк	100	85

Аналіз табл. 2.12 свідчить про перевищення нормативних значень шуму і вібрації та про недостатній рівень штучного освітлення. Ці фактори у сукупності обумовлюють підвищену втому персоналу, ризик погіршення уваги і реакції оператора. Саме тому впровадження дистанційного управління і автоматичного моніторингу, передбачене розробленою АСУ, слід розглядати не лише як технічне, а й як важливе профілактично-захисне рішення.

2.9.2 Заходи щодо зниження шкідливих і небезпечних чинників

Зниження рівня шуму в машинному залі досягається комплексом архітектурно-будівельних і технологічних заходів. Стіни машинного залу облицьовано акустично поглинаючими панелями зі спеціального пористого матеріалу, що забезпечує поглинання звукової енергії в діапазоні частот від 250 до 4000 Гц – найбільш несприятливому для органів слуху людини. Всі прорізи, крізь які звук міг би розповсюджуватися у сусідні приміщення, закрито звукоізоляційними лядами. Ізольована операторська кімната, де зосереджено апаратуру контролю та управління, є принциповим організаційно-технічним рішенням: вона виключає необхідність тривалого перебування персоналу безпосередньо в зоні шумового впливу.

Захист від вібрації забезпечується встановленням насосних агрегатів на спеціальні антивібраційні опори (віброізолятори) з гідравлічними шарнірами, які мають велику вертикальну і малу горизонтальну жорсткість – характеристика, оптимальна для насосного обладнання, де переважає вертикальна складова динамічних навантажень. Усі відкриті рухомі частини і з'єднання обладнані металевими захисними огородженнями.

Комплекс заходів із електробезпеки включає: застосування електроінструмента і переносного освітлення напругою не вище 12-36 В; захисне заземлення всіх металевих нормально-неструмоведучих частин обладнання; блокування дверей шаф з апаратурою напругою вище 1000 В; огородження і розміщення на недоступній висоті відкритих струмоведучих частин. Виходячи з підвищеного ризику ураження електричним струмом (наявність підвищеної вологості та можливість дотику до заземлених металоконструкцій), приміщення насосної станції віднесено до особливо небезпечних у відповідності до класифікації [20].

2.9.3 Засоби індивідуального захисту

Комплекс засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) для електромонтерів і чергових операторів ПНС-2 визначено відповідно до нормативних вимог [20] та наказу Держгірпромнагляду № 62 [22]. Перелік спецодягу наведено в табл. 2.13, а перелік захисних засобів і строки їх випробувань – у табл. 2.14.

Таблиця 2.13

Перелік спецодягу та засобів індивідуального захисту електромонтера [22]

Засіб індивідуального захисту	Од. вим.	Кількість	Строк придатності, міс.
Костюм х/б антистатичний	шт.	1	12
Куртка ватяна (утеплена)	шт.	1	36
Захисна каска з підшоломником	шт.	1	до зносу
Черевики електрозахисні	пара	1	12
Рукавиці х/б з ПВХ накатом	пара	1	2
Респіратор «Пелюсток» FFP1	шт.	1	1 зміна

Таблиця 2.14

Перелік захисних засобів та строки їх випробувань [22]

№	Найменування захисного засобу	Строки переогляду та випробувань
1	Ізолюючі оперативні штанги	1 раз на 2 роки
2	Вимірювальні кліщі (до 10 кВ)	1 раз на 2 роки
3	Ізолюючі кліщі (для запобіжників)	1 раз на 2 роки
4	Діелектричні рукавички	2 рази на рік
5	Покажчик напруги до 10 кВ	1 раз на 2 роки
6	Діелектричні боти	1 раз на 3 роки
7	Діелектричні килимки	Огляд 1 раз на 2 роки

2.9.4 Розрахунок рівня освітленості

Недостатній рівень освітленості (85 лк при нормі 100 лк, а для зон технічного обслуговування – 200 лк) є суттєвим виробничим ризиком, особливо під час виконання точних операцій на обладнанні і при аварійних перемиканнях. Для досягнення нормованого рівня розраховано систему загального рівномірного освітлення виробничого приміщення машинного залу (зорові роботи підвищеної точності, E = 200 лк згідно [21]).

Вихідні дані: a = 12 м, b = 5 м, H = 3,2 м; коефіцієнти відбиття: стеля ρст = 70 %, стіни ρс = 50 %; висота робочих поверхонь Hр = 0,8 м; тип світильника – УПМ-15 (підвішується до стелі), відстань від стелі Hс = 0,5 м.

$$h_1 = H - H_c = 3{,}2 - 0{,}5 = 2{,}7 \text{ м} \quad (2.8)$$

$$h = h_1 - H_p = 2{,}7 - 0{,}8 = 1{,}9 \text{ м} \quad (2.9)$$

$$L = 1{,}4 \times h = 1{,}4 \times 1{,}9 = 2{,}66 \text{ м} \quad (2.10)$$

$$N = (a \times b) / L_2 = (12 \times 5) / 2{,}66_2 \approx 8{,}5 \text{ -> } N = 16 \text{ шт.} \quad (2.11)$$

$$i = (a \times b) / [h \times (a + b)] = (12 \times 5) / [1{,}9 \times 17] = 1{,}85 \quad (2.12)$$

При значенні i = 1,85 і коефіцієнтах відбиття ρст = 70 % та ρс = 50 % з таблиць для світильника УПМ-15 знаходимо коефіцієнт використання η = 0,6. Необхідний світловий потік одного світильника:

$$\Phi_л = (E \times K \times z \times S) / (N \times \eta) = (200 \times 1{,}3 \times 1{,}1 \times 60) / (16 \times 0{,}6) = 1788 \text{ лм} \quad (2.13)$$

де К = 1,3 - коефіцієнт запасу; z = 1,1 - коефіцієнт нерівномірності освітленості; S = 12 × 5 = 60 м2 - площа приміщення.

Зі стандартного ряду ламп розжарювання вибираємо лампу Г-150 з номінальним світловим потоком 2000 лм. Відхилення від розрахункового значення становить +7 %, що знаходиться в допустимому діапазоні (від –10 % до +20 %) і свідчить про правильний підбір. Встановлена потужність освітлювальної установки: $P_N = 150 \times 16 = 2400$ Вт.

2.9.5 Санітарно-побутові приміщення та пристрої

Цех шламового господарства, у складі якого функціонує ПНС-2, налічує 163 особи персоналу. Максимальна кількість працівників, що одночасно знаходяться на виробництві, становить 75 осіб у денну зміну. Виходячи з цієї чисельності, цех забезпечений необхідним набором санітарно-побутових приміщень і пристроїв відповідно до діючих норм. Конкретні розрахунки за видами і нормами обладнання наведено в табл. 2.15.

Таблиця 2.15

Забезпечення санітарно-гігієнічними і побутовими приміщеннями та пристроями [розраховано автором]

№	Найменування	Заг. число прац.	Нормативне значення	Розрахункове значення
1	Гардеробна (шафи)	163	1 шафа × 1 чол.	172 шафи (+5 %)
2	Душова кабіна	75 (max у зміну)	1 кабіна × 3 чол.	27 кабін
3	Умивальники	75	1 прилад × 20 чол.	4 прилади
4	Їдальня (місця)	75	1 місце × 4 чол.	19 столів по 4 місця
5	Санітарні прилади (туалет)	163	1 прилад × 15 чол.	5 приладів
6	Оздоровпункт	163	1 цілодобовий	1 цілодобовий
7	Питна вода (норма)	75	4–5 л/чол./зміну	375 л/зміну

2.9.6 Пожежна безпека

Приміщення машинного залу пульпонасосної станції відноситься до категорії «Д» за ступенем пожежної та вибухопожежної небезпеки відповідно до [24], оскільки основна маса речовин і матеріалів, що використовуються в ньому (метал насосів, бетон фундаментів, пульпа – водяна суміш), є негорючими у холодному стані. Тим не менш наявність значних кількостей кабельної продукції із спалимою ізоляцією, а також мастильних матеріалів обумовлює необхідність суворого дотримання вимог пожежної безпеки [24].

Основними потенційними причинами пожежі є: іскрові розряди при несправностях електрообладнання; теплові прояви аварійних режимів (перевантаження, короткі замикання); великі перехідні опори в місцях ненадійних електричних контактів. Профілактика займань забезпечується правильним вибором і монтажем кабельних ліній, регулярним контролем стану ізоляції за допомогою мегомметра, застосуванням швидкодіючих автоматичних вимикачів і систематичним технічним обслуговуванням контактних з'єднань [24]. Первинні засоби пожежогасіння наведено в табл. 2.16.

Таблиця 2.16

Пожежний інвентар та інструменти первинного пожежогасіння [24]

№	Найменування засобу	Кількість, шт.
1	Вогнегасник порошковий ВХП-10 (АВС-клас)	2
2	Вогнегасник вуглекислотний ВВ-8 (ВС-клас, для ел. обладнання)	2
3	Ящики з піском (0,5 $м^3$)	2
4	Цебра пожежні	6
5	Лопати пожежні штикові	4
6	Піки пожежні відбивні	2
7	Протигази ізолюючі	2
8	Сокири пожежні насаджені	2

2.9.7 Екологія й охорона навколишнього середовища

Технологічний процес збагачення залізних руд є потужним джерелом техногенного впливу на навколишнє природне середовище. Основні екологічні ризики, пов'язані з функціонуванням ПНС-2, визначаються характером самого продукту – пульпи, тобто водної суспензії тонкодисперсних мінеральних частинок. При неконтрольованому виливі або пориві пульпопроводів пульпа, потрапляючи на поверхню ґрунту, здатна необоротно забруднювати ґрунтові та поверхневі води, пошкоджувати рослинний покрив і порушувати природне водопостачання прилеглих територій. Саме тому система аварійного закривання засувок і автоматичного виявлення нетипового падіння тиску в магістральних пульповодах – одна з ключових функцій розробленої АСУ – є не лише виробничою, а й природоохоронною мірою.

Для захисту атмосферного повітря від пилу, що виділяється при транспортуванні і укладанні відходів у хвостосховищах, застосовується пилоуловлювальне обладнання різних класів очищення, де концентрація часток в очищеному повітрі становить не більше 1–2 мг/м3. Стічні води машинного залу збираються в спеціальні збірники і після освітлення направляються у систему оборотного водопостачання або на очисні споруди підприємства, що виключає їх скидання у відкриті водойми. Усі ці заходи реалізуються відповідно до нормативних вимог [25].

ВИСНОВКИ

У даній випускній роботі виконано комплексний аналіз технологічного процесу перекачування пульпи і стану системи автоматизації пульпонасосної станції ПНС-2 цеху шламового господарства ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та розроблено проект автоматизованої системи управління, що усуває виявлені принципові недоліки.

Аналіз чинного стану об'єкта дозволив виявити три системні проблеми, що знижують ефективність і надійність виробничого процесу: по-перше, пряме увімкнення потужних синхронних електродвигунів (від 630 до 3200 кВт), що породжує надструми і гідравлічні удари, руйнівні для пульпопроводів; по-друге, відсутність регулювання продуктивності насосів, що тягне за собою нераціональне споживання електроенергії у повному обсязі незалежно від поточного технологічного навантаження; по-третє, відсутність оперативної інформації про технічний стан обладнання і параметри перекачуваної пульпи, що змушує персонал виконувати ручні обходи у несприятливих виробничих умовах.

Для вирішення першої проблеми запропоновано принципово нову концепцію організації електропривода: єдиний потужний перетворювач частоти серії MVD2000 (Delta Electronics Slovakia, 6 кВ, 400 А) через систему восьми вакуумних контакторів К2-6 (6 кВ, 400 А) забезпечує почерговий плавний запуск усіх насосних агрегатів і неперервне регулювання швидкості одного регулюючого насоса для стабілізації тиску в магістральному пульповоді. Ця архітектура повністю виключає гідравлічні удари при пуску і суттєво знижує капітальні витрати у порівнянні зі схемою «один ЧРП на один насос». Для вирішення другої проблеми реалізовано алгоритм частотного регулювання продуктивності, що дозволяє знизити споживання електроенергії насосними приводами приблизно на 12 % і збільшити міжремонтні інтервали обладнання у 2,5-3 рази.

Третя проблема вирішена шляхом оснащення станції повним комплексом засобів первинного вимірювання: датчиками тиску JUMO 404753 (Німеччина), безконтактними інфрачервоними датчиками температури підшипників VTIR1816 (OMRON, Японія), датчиками вібрації VSA001 (IFM Electronic, Німеччина), ультразвуковими витратомірами DMDF-B, рівнемірами УРВН-3 та радіоізотопними щільномірами ПРИЗ-Т. Мікропроцесорна частина системи побудована на базі промислового контролера ICP DAS I-8411-G (Тайвань) з відповідними модулями введення-виведення; верхній рівень реалізовано на базі панельного контролера ОВЕН СПК107 (Україна). Зв'язок між рівнями системи організовано по захищеному каналу GSM.

Розрахунком показників надійності для перетворювача частоти встановлено, що середній наробіток на відмову становить близько 11 років (114 700 год), а ймовірність безвідмовної роботи протягом двох років перевищує 0,86 – показники, що відповідають вимогам безперервного промислового виробництва. Впровадження розробленої АСУ дозволить підвищити техніко-економічні показники ПНС-2, суттєво поліпшити умови праці персоналу за рахунок дистанційного управління і автоматичного моніторингу, а також знизити ризик аварійного забруднення навколишнього середовища завдяки системі автоматичного захисту пульпопроводів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Суртаєв В. М., Суртаєв В. В., Осадчук Ю. Г. та ін. Підвищення енергоефективності турбомеханізмів в енергоємних технологіях гірничо-металургійного комплексу. Вісник Криворізького національного університету. 2012. Вип. 30.

2. Wikimapia. Картографічні дані по об'єктам Криворізького регіону [Електронний ресурс]. URL: http://wikimapia.org (дата звернення: 15.04.2026).

3. MES Systems. Автоматизована система управління пульпонасосною станцією на збагачувальній фабриці №1 комбінату «Печенганікель» [Електронний ресурс]. URL: http://mes-systems.com (дата звернення: 15.05.2026).

4. ДСТУ EN 60721-3-3:2018. Класифікація умов навколишнього середовища. Частина 3-3: Класи параметрів навколишнього середовища. Стаціонарне використання на захищених місцях. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.

5. Суртаєв В. М., Суртаєв В. В., Осадчук Ю. Г. та ін. Підвищення енергоефективності турбомеханізмів в енергоємних технологіях гірничо-металургійного комплексу. Технічні науки. 2012.

6. Delta Electronics. MVD2000 Medium Voltage Drive: технічна документація і паспортні дані [Електронний ресурс]. URL: https://delta-electronics.com.ua (дата звернення: 15.04.2026).

7. R-EK. VTIR1816 Infrared Temperature Sensor: datasheet [Електронний ресурс]. URL: https://r-ek.eu (дата звернення: 15.04.2026).

8. Weir Group. Warman AH Series Heavy Duty Slurry Pumps: product catalogue [Електронний ресурс]. URL: https://www.global.weir/product-catalogue/pumps (дата звернення: 15.04.2026).

9. Anticor. Ультразвуковий далекомір-рівнемір УРВН-3: технічні характеристики [Електронний ресурс]. URL: https://anticor.all.biz/uk/ultrazvukovyj-dalekomir-urvn-3-g1403649 (дата звернення: 15.04.2026).

10. НПП ТЕТРА. Радіоізотопний щільномір ПРИЗ-Т: паспорт і технічний опис [Електронний ресурс]. URL: http://tetra.ua/en/production/radioisotope_apparatus/priz-t/ (дата звернення: 15.05.2026).

11. Чиженко І. М., Сенько В. І., Ямненко Ю. С. Основи перетворювальної техніки: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 536 с.

12. FORCA. Електромагнітний контактор К2-6 на напругу 6 кВ: технічний опис [Електронний ресурс]. URL: https://forca.com.ua (дата звернення: 15.05.2026).

13. Приходченко С. Д. Залежність спектра споживаної потужності електродвигуна від фізичних параметрів механізму. Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. Дніпро: ІГТМ НАН України. 2006. Вип. 64. С. 123–129.

14. Устройство защиты экскаваторных двигателей. Промышленные измерения, контроль, автоматизация и диагностика. 2006. № 3. С. 22–24.

15. ICP DAS. I-8411-G Embedded Controller: user manual and technical specifications [Електронний ресурс]. URL: http://old.holit.ua/ru/products/cad/modul_con/8000/I-8000/3140.html (дата звернення: 15.05.2026).

16. MEAN WELL Enterprises Co. MDR-60-24 DIN Rail Power Supply: datasheet [Електронний ресурс]. URL: https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=MDR-60 (дата звернення: 15.05.2026).

17. ОВЕН. Панельний програмований контролер СПК107: керівництво з експлуатації [Електронний ресурс]. URL: https://owen.ua/uploads/119/kr_oven_spk107_m01__2-ru-44773-1.5_a4.pdf (дата звернення: 15.05.2026).

18. ABB Switzerland Ltd. Reliability and Qualification Testing for Power Electronics: IGCT Technology [Електронний ресурс]. URL: https://www.abb.com (дата звернення: 15.05.2026).

19. НПАОП 0.00-1.29-97. Правила захисту від статичної електрики. Затверджено наказом Держнаглядохоронпраці від 22.04.1997 № 103.

20. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ, 2001.

21. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018.

22. Наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду № 62 від 16.04.2009. Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам металургійної промисловості.

23. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ: МОЗ України, 1999.

24. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ: Мінрегіон України, 2017.

25. Гушко С. Вимоги з оформлення письмових робіт у Державному університеті економіки і технологій. Кривий Ріг: ДУЕТ, 2020. 53 с.

StrikePlagiarism.com

Документ прийнятий

Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок
151-4д-2026врб

Автор
151-4д-2026врб

Науковий керівник / Експерт
Модло Є

ІД документу
334133460

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту
6/2/2026

Дата редагування
—

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.

25.26% 25.26% КП 1

0.7% 0.7% КЦ

11986
Кількість слів

83971
Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв	R	21
Інтервали	A→	0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)	a	105

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз | Колір тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)

ЗГОДА здобувача вищої освіти
Державного університету економіки і технологій про перевірку
кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету

Я, Данилін Олександр Олександрович
(ПІП),

підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота Автоматизація обладнання гірничого департаменту. Автоматизована система керування процесом перекачування пульпи на насосній станції ПНС-2 цеху шламового господарства ПАТ «АМКР» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований, що відповідно до «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений.

1.06.2026		Данилін О.О
дата	підпис	ініціали, прізвище (власноруч)