

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра "Автоматизації виробничих процесів"

"Допущено до захисту"

Зав.кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____ Дідик О.К.

" ____ " _____ 2025р.

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти**

на тему

**"Автоматизована система керування поточно-
транспортною системою скельного тракту"**

**"Automated control system for a rock transport conveyor
system"**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу
групи АК-24 М (1,4)

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

_____ Голіков В.О.

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

д.т.н, професор

_____ Мацуй А.М.

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

« ____ » _____ 2025 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
Призначення та область застосування поточно-транспортної системи скельного тракту.....	
1.1 Характеристика технологічного процесу дроблення та транспортування скельних порід.....	
1.2 Характеристика існуючої АСК ПТС скельного тракту ДФ.....	
1.3 Обґрунтування необхідності модернізації АСК ПТС скельного тракту.....	
2 Огляд існуючих рішень та обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу.....	
2.1 Аналіз вимог до процесів керування устаткуванням ПТС.....	
2.2 Математичне забезпечення АСК ПТС скельного тракту.....	
2.2.1 Формалізація завдань керування механізмами ПТС.....	
2.2.2 Алгоритм формування сигналів завдання в системі керування багатодвигунним електроприводом магістрального конвеєра.....	
2.3 Технічне забезпечення.....	
2.3.1 Обґрунтування вибору структури комплексу технічних засобів АСК ПТС скельного тракту.....	
3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій.....	
3.1 Вибір обладнання автоматизації першого рівня.....	
3.2 Вибір та обґрунтування ПЛК та модулів введення-виведення.....	
4 Розробка системи візуалізації процесу транспортування сланцевих порід.....	

4.1 Програмне забезпечення АСК ПТС скельного тракту.....

4.2 Розробка проєкту системи візуалізації процесу керування

ПТС.....

Висновок.....

Література.....

Додаток А. Охорона праці.....

ВСТУП

Обладнання скельного тракту дробильної фабрики ПрАТ «Полтавський ГЗК» використовується для подрібнення та переміщення скельних матеріалів з подальшим транспортуванням промисловими засобами комбінату сланцевих порід у тіло дамби хвостосховища. Поточно-транспортна система скельного тракту має велику протяжність технологічних маршрутів, що зумовлено наявністю магістральних стрічкових конвеєрів значної довжини та живильників. Така особливість робить доцільним застосування централізованого диспетчерського автоматизованого контролю й керування всіма механізмами ПТС, оскільки децентралізоване управління є складним і економічно недоцільним.

У зв'язку з цим формується завдання випускної кваліфікаційної роботи, яке полягає у вдосконаленні наявної системи автоматизації скельного тракту шляхом створення системи візуалізації технологічного процесу транспортування скельних порід. Реалізація такого підходу забезпечить зростання ефективності функціонування поточно-транспортної системи, зниження енерго- та ресурсних витрат, покращення умов праці обслуговуючого персоналу та перехід до сучасного рівня керування виробничими процесами.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати низку задач, зокрема:

- проаналізувати технологічний процес транспортування скельних матеріалів;
- розробити технічне завдання на створення автоматизованої системи керування ПТС скельного тракту;
- обґрунтувати структуру та склад комплексу технічних засобів для реалізації АСК ПТС.

Застосування сучасних засобів автоматизації, таких як індустріальні комп'ютери, програмовані логічні контролери, модулі введення-виведення, вимірвальна апаратура, частотні перетворювачі та засоби людино-машинної

взаємодії, у поєднанні з програмним забезпеченням автоматизованих систем керування, зокрема OPC-серверів і SCADA-платформ, дозволяє суттєво підвищити надійність та ефективність керування поточно-транспортними комплексами.

Таким чином, до завдань випускної кваліфікаційної роботи також належать вибір комплексу технічних засобів, а також розробка системи візуалізації технологічного процесу на базі сучасної SCADA-системи. Результати виконання роботи дадуть змогу створити ефективну, надійну та сучасну автоматизовану систему керування, що відповідатиме вимогам, які висуваються до АСК ПТС скельного тракту в умовах дробильної фабрики ПрАТ «Полтавський ГЗК».

1 Призначення та область застосування поточно-транспортної системи скельного тракту

1.1. Характеристика технологічного процесу дроблення та транспортування скельних порід

Об'єктом автоматизації є поточно-транспортна система скельного тракту дробильної фабрики. Обладнання дробильної фабрики призначене для подрібнення та переміщення скельних порід, що надходять із кар'єру з горизонту 75 м, з подальшим транспортуванням промисловими засобами комбінату сланців до тіла дамби хвостосховища.

Технологічна схема процесів дроблення і транспортування сланцевих порід передбачає кілька послідовних етапів. На першому етапі гірська маса з крупністю до 1500 мм доставляється залізничним транспортом від вибоїв до приймальних пристроїв дробильно-перевантажувального пункту. Далі здійснюється розвантаження матеріалу з думпкарів з розділенням за видами порід у відповідні приймальні бункери.

Наступною операцією є первинне, або крупне, дроблення вихідної гірської маси з подальшим перевантаженням подрібненого матеріалу на магістральний стрічковий конвеєр СК-1. Дроблена порода транспортується цим конвеєром до борту кар'єра, у приміщення приводної станції №1, де відбувається її передача на магістральний конвеєр СК-2.

На завершальному етапі подрібнена маса переміщується конвеєром СК-2 до приміщення приводної станції №2, розташованої в блоці з навантажувальним бункером, з подальшим перевантаженням матеріалу для наступних технологічних операцій.

- сланцеву гірську масу безпосередньо подають у думпкари з подальшим транспортуванням залізницею;
- за відсутності думпкарів сланцеві породи спрямовують на реверсивно-котючий конвеєр СК-3 для тимчасового складування;

– гірська маса, що надходить із реверсивно-котючого конвеєра СК-3, розвантажується на відкритий склад під екскаватор ЕКГ-10А № 9:

– сланцеві породи призначаються для подальшого навантаження в думпкери та вивезення залізничним транспортом.

Дробильно-перевантажувальний пункт є стаціонарною спорудою та розташований у кар'єрі на відмітці 75 м. До складу ДПП входить конусна дробарка ККД-1500/180 ГРЩ, оснащена двома електроприводами загальною потужністю 320 кВт.

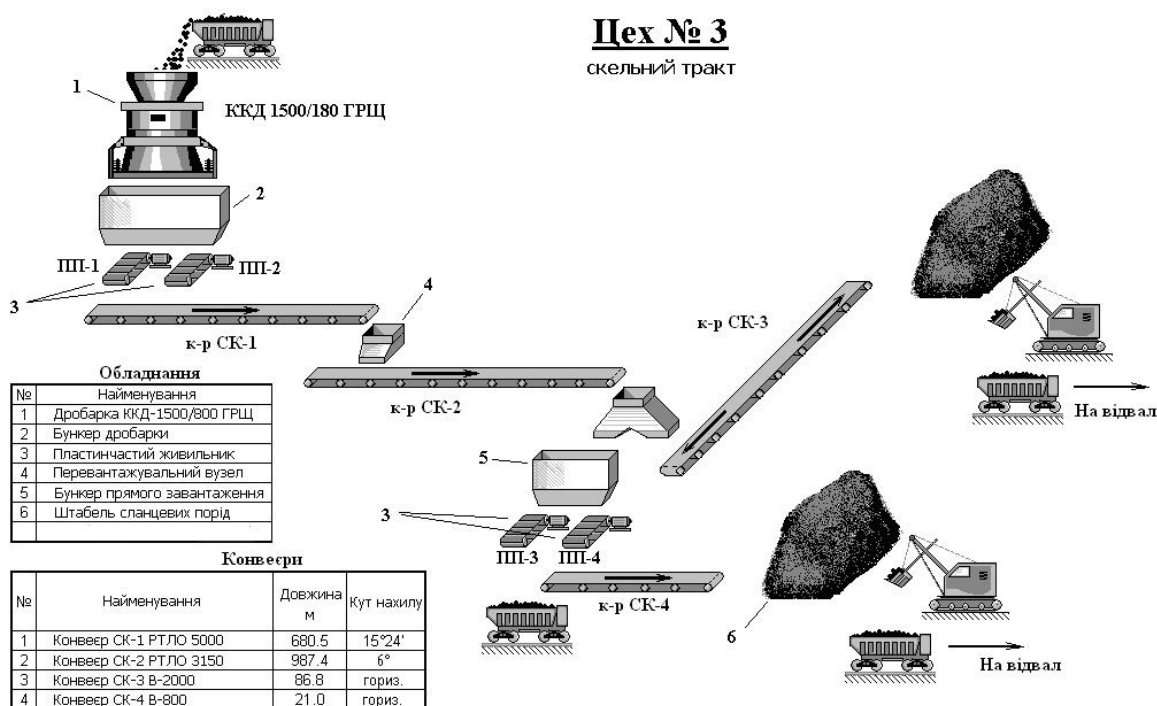


Рисунок 1.1 – Технологічна схема дроблення і транспортування сланцевих порід і кварцитів

Усе обладнання дробильно-перевантажувального пункту розміщене в колодязі зі стінками, закріпленими тубінговим кріпленням. Внутрішній діаметр колодязя становить 23 м.

Вивантаження подрібненої гірської маси з-під дробарки ККД-1500/180 на стрічковий конвеєр СК-1 виконується за допомогою двох пластинчастих живильників типу ПП-2-24-45. Номінальна продуктивність дробильного агрегату досягає 1370 т/год.

Магістральні транспортні лінії СК-1 та СК-2 є стрічковими конвеєрами з жорсткими роликоопорами. Ширина стрічки становить 2000 мм, швидкість її руху – 2,37 м/с. Конвеєр СК-1 оснащений приводом загальною потужністю 3200 кВт, що реалізується чотирма електродвигунами по 800 кВт. Він змонтований у підйомному похилому стволі з кутом нахилу до горизонталі $15^{\circ}24'$, а його довжина складає 600 м.

Конвеєр СК-2 обладнаний приводом потужністю 1600 кВт і розташований на естакаді в закритій опалюваній галереї з ухилом 6° . Загальна довжина транспортера становить 1015 м.

Перевантаження сланцевих порід у зоні станції приводів № 2 з магістрального конвеєра СК-2 здійснюється через приймальні бункери з використанням двох пластинчастих живильників ПП-2-24-60.

З метою зменшення висоти падіння матеріалу під час завантаження думпкарів і скорочення втрат у вигляді просипу на залізничних коліях, розвантажувальні вузли обладнані перекидними навантажувальними лотками, що приводяться в дію лебідками ЛМГ-2. Ці лотки одночасно виконують функції затворів завантажувальних пристроїв.

Матеріал, що просипається під пластинчастими живильниками, збирається лійками та подається на стрічковий конвеєр СК-4, який транспортує його до спеціального штабеля. Ширина стрічки цього конвеєра становить 800 мм, а довжина – 21 м.

Формування штабелів дроблених скельних порід і кварцитів на відкритому складі забезпечується реверсивно-котючим конвеєром СК-3. Він змонтований на естакаді в закритій, але неопалюваній галереї. Довжина конвеєра дорівнює 88 м, а потужність його привода складає 180 кВт.

З позицій технологічного процесу підсистему технічних засобів об'єкта автоматизації доцільно поділити на окремі функціональні ділянки:

1. Дробильно-перевантажувальний вузол (ДПП). До складу основного та допоміжного обладнання входять дробарки типу ККД-1500/180, головний

розподільчий щит, маслостанції, системи обдуву електродвигунів дробарок, а також аспіраційні установки А1, А2 та А3.

2. Ділянка магістрального конвеєра СК-1. Основним обладнанням є конвеєр СК-1, а допоміжними засобами – маслостанції з першої по четверту, система охолодження електродвигунів конвеєра та аспіраційне обладнання, що обслуговує даний тракт.

3. Ділянка магістрального конвеєра СК-2. До її складу входять конвеєр СК-2, живильники №3 і №4, маслостанції №1 та №2, установки обдуву електродвигунів, аспіраційні системи №1–№3, затвори СК-2 і перевантажувальних бункерів, вентилі подачі змивної води, навантажувальні перекидні лотки №1 і №2, а також конвеєр збору просипу СК-4.

4. Реверсивно-котючий конвеєр СК-3.

5. Конвеєр СК-4 – основне і допоміжне устаткування конвеєра.

6. Підстанція 35/6 кВ № 133.

7. Насосна станція пожежогасіння.

ПТС скельного тракту дробильної фабрики №2 забезпечується:

1) однофазною напругою 220 В, 50 Гц;

2) трифазною напругою 380В, 50 Гц;

3) трифазною напругою 6000В, 50Гц.

Основними споживачами електричної енергії є технологічні агрегати з установленою потужністю в діапазоні від 1,0 до 1600 кВт. Робота ПТС скельного тракту ДФ-2 здійснюється у безперервному режимі, а зупинка обладнання передбачається виключно під час проведення планово-попереджувальних ремонтних робіт.

ПТС скельного тракту дробильної фабрики ПрАТ «Полтавський ГЗК» розташована на території України та експлуатується в умовах кліматичної зони з помірними кліматичними характеристиками.

Технічні елементи автоматизованої системи керування (АСК) ПТС скельного тракту ДФ розташовуються таким чином:

1. безпосередньо на технологічному обладнанні або в безпосередній близькості до нього – інформаційно-вимірювальні засоби, зокрема датчики та первинні перетворювачі, виконавчі механізми, а також локальні прилади контролю й управління;

2. у приміщеннях постів силового керування (ПСК) – апаратура збору даних з електричних установок, пускові пристрої та захисні елементи електроприводів;

3. у приміщеннях операторських і диспетчерських пунктів – вторинні перетворювачі сигналів, засоби оперативного керування та візуалізації інформації, а також мікропроцесорні й обчислювальні системи.

Експлуатація технічних засобів, розміщених безпосередньо на технологічному обладнанні або в зоні його розташування, допускається за таких умов навколишнього середовища:

– температура повітря на відкритому просторі може змінюватися в межах від -40 до $+40$ °С;

– у неопалюваних приміщеннях робота обладнання забезпечується за температури від -10 до $+35$ °С;

– у приміщеннях з опаленням допустимий температурний діапазон становить від $+5$ до $+30$ °С;

– відносна вологість атмосферного повітря поза будівлями допускається до 100 % за температури $+25$ °С;

– у внутрішніх приміщеннях граничне значення відносної вологості не повинно перевищувати 80 % при температурі $+25$ °С.

– тип атмосфери II за ДСТ 15150;

– атмосферний тиск від 84 до 106,7 кПа (від 630 до 800 мм рт.ст.);

– постійна вібрація з частотою до 30 Гц з амплітудою 0,2 мм.

Умови використання технічних засобів, що монтуються в приміщеннях ПСК, операторських постах та диспетчерських пунктах, визначаються вимогами до безпечної, надійної й безперервної роботи обладнання в заданих виробничих умовах. Вони враховують параметри мікроклімату, допустимі рівні запиленості,

вологості та температури повітря, а також вплив вібрацій, електромагнітних завад і особливостей режиму експлуатації приміщень:

- температура навколишнього повітря від +10 до +55 °С;
- відносна вологість повітря не більш 80 % при температурі +25 °С;
- тип атмосфери II за ДСТ 15150;
- атмосферний тиск від 84 до 106,7 кПа (від 630 до 800 мм рт.ст.);
- постійна вібрація з частотою до 30 Гц з амплітудою не більш 0,1 мм;
- наявність магнітного і струмопровідного пилу з запиленістю від 3 до 6 мг/м².

1.2 Характеристика існуючої АСК ПТС скельного тракту ДФ

АСК ПТС скельного тракту [1] відповідно до її функціонального призначення доцільно класифікувати на окремі підсистеми, перелік і характеристика яких наведені в табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Підсистеми АСК ПТС скельного тракту та їх призначення

№ з/п	Найменування підсистем	Призначення підсистем
1	Підсистема керування ПТС дробильно-перевантажувальним пунктом (ПСК-ДПП)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введення і обробка сигналів з первинних засобів збору інформації про стан ДПП 2. Аналіз стану ДПП 3. Забезпечення пуску і зупинки ДПП 4. Формування технологічних блокувань, захисту і сигналізації 5. Відображення стану ДПП і оперативне керування устаткуванням 6. Взаємодія із суміжною підсистемою – ПСК-СК-1
2	Підсистема керування ПТС тракту магістрального конвеєра СК-1 (ПСК-СК-1)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введення і обробка сигналів з первинних засобів збору інформації про стан СК-1 2. Аналіз стану СК-1 3. Забезпечення пуску і зупинки СК-1 4. Формування технологічних блокувань, захистів і сигналізації 5. Відображення стану СК-1 і оперативне керування устаткуванням 6. Взаємодія із суміжними підсистемами – ПСК-ДПП і ПСК-СК-2

3	Підсистема керування ПТС тракту магістрального конвеєра СК-2 (ПСК-СК-2)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введення і обробка сигналів з первинних засобів збору інформації про стан СК-2 2. Аналіз стану СК-2 3. Забезпечення пуску і зупинки СК-2 4. Формування технологічних блокувань, захистів і сигналізації 5. Відображення стану СК-2 і оперативне керування устаткуванням
4	Підсистема керування реверсивно-котючим конвеєром СК-3 (ПСК-СК-3)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введення і обробка сигналів з первинних засобів збору інформації про стан СК-3 2. Аналіз стану СК-3 3. Забезпечення пуску і зупинки СК-3 4. Формування технологічних блокувань, захистів і сигналізації 5. Відображення стану СК-3 і оперативне керування устаткуванням 6. Взаємодія із суміжною підсистемою – ПСК-СК-2
5	Підсистема оперативно-диспетчерського керування ПТС ДФ-2 (ПСДК-ДФ-2)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Забезпечення диспетчерського керування об'єктом і системою в цілому 2. Забезпечення внутрішньо системного обміну даними 3. Формування і представлення вихідних відеокадрів і документів системи
6	Підсистема технічного обліку споживання основних енергоносіїв (АСТОЕ)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технічний облік споживання енергоносіїв 2. Представлення інформації в АСОДУ комбінату

АСК ПТС скельного тракту має два рівні ієрархії управління:

1) нижній – підсистеми ПСК-ДПП, ПСК-СК-1, ПСК-СК-2, ПСК-СК-3, ПСК-ПСТ (табл. 1.1);

2) верхній – підсистема ПСДК-ДФ-2.

Підсистема АСТОЕ належить до інформаційних систем і не призначена для безпосереднього формування керуючих сигналів.

По відношенню до АСК ПТС скельного тракту систему вищого ієрархічного рівня становить автоматизована система оперативно-

диспетчерського управління комбінатом (АСОДУ). Інші суміжні системи або підсистеми, пов'язані з АСК ПТС скельного тракту, відсутні.

Нижчий рівень ієрархії щодо АСК ПТС скельного тракту утворюють системи керування електроприводами технологічного обладнання.

Апаратно-програмний комплекс АСК ПТС складається з [1]:

- програмованих логічних контролерів (ПЛК);
- операторських пультів машиністів технологічного устаткування;
- автоматизованого робочого місця (АРМ) диспетчера ДФ-2;
- інформаційного терміналу служби головного енергетика ДФ-2;
- інженерної станції;
- комунікаційної промислової мережі нижнього рівня керування;
- комунікаційної промислової мережі верхнього рівня керування;
- базового програмного забезпечення операторських пультів керування машиністів;
- операційних платформ і типового програмного забезпечення автоматизованого робочого місця диспетчера ДФ-2;
- операційної платформи та стандартних програм інформаційного терміналу служби головного енергетика ДФ-2;
- операційної системи й типового програмного забезпечення інженерної станції керування;
- прикладних програмних модулів мікропроцесорних контролерів;
- спеціалізованого прикладного програмного забезпечення АРМ диспетчера ДФ-2;
- прикладних програм для інформаційного терміналу служби головного енергетика ДФ-2;
- програмно-інструментальних засобів розроблення та налагодження;
- людино-машинних інтерфейсів операторських пультів керування технологічним обладнанням;
- людино-машинних інтерфейсів автоматизованого робочого місця диспетчера та інформаційного терміналу служби головного енергетика ДФ-2.

Програмовані логічні контролери, панелі введення-виведення даних і автоматизоване робоче місце диспетчера розміщуються в операторських приміщеннях та диспетчерській ДФ-2. Контролери разом із допоміжним електротехнічним обладнанням монтуються у спеціалізовані шафи, які забезпечують необхідний рівень захисту відповідно до умов експлуатації та вимог безпеки.

Передавання інформації між елементами й підсистемами автоматизованої системи здійснюється:

1. за допомогою аналогових електричних сигналів, що надходять від первинних перетворювачів технологічних параметрів до програмованих логічних контролерів;

2. через дискретні електричні сигнали, які використовуються для обміну даними між датчиками стану технологічного обладнання та ПЛК;

3. шляхом передавання дискретних керуючих сигналів від ПЛК до виконавчих механізмів і пристроїв;

4. із застосуванням промислових комунікаційних мереж нижнього та верхнього рівнів для зв'язку між ПЛК і операторськими панелями, а також між ПЛК, автоматизованим робочим місцем диспетчера та інформаційними терміналами.

Вихідні сигнали від датчиків і первинних перетворювачів технологічних величин під час розширення системи являють собою безперервні електричні сигнали постійного струму в діапазоні 0-5 мА, а також сигнали терморезисторів, виконані відповідно до ДСТ 26.011.

Сигнали, що формуються датчиками стану основного обладнання, є електричними дискретними та відповідають вимогам ДСТ 26.013. Параметри дискретних керуючих сигналів, призначених для роботи виконавчих механізмів і пристроїв, також встановлюються згідно з зазначеним стандартом.

Обмін інформацією з використанням промислових комунікаційних мереж реалізується на основі типових протоколів, що забезпечують сумісність і надійну передачу даних у таких мережах. Взаємодія системи з пов'язаними підсистемами

та системами здійснюється, зокрема, з нижнім рівнем електроприводів шляхом передачі електричних сигналів, які відображають стан обладнання.

У режимі OFFLINE виконується приймання вхідних сигналів і даних, їх оброблення та відображення оперативної інформації без формування і передачі керуючих дій на технологічний процес.

Під час роботи в режимі ONLINE забезпечується введення та обробка інформації, її відображення в реальному часі, а також формування і передача керуючих сигналів на виконавчі механізми та пристрої.

У системі передбачено три види керування устаткуванням [2, 3]:

- місцевий зблокований;
- дистанційний;
- автоматичний.

Місцеве керування виконавчими пристроями та механізмами реалізується за допомогою органів ручного впливу. Режим керування для кожного виконавчого механізму обирається індивідуально шляхом перемикання відповідного режиму, при якому у разі місцевого керування:

- припиняється передавання керуючих вихідних сигналів від ПЛК до виконавчого механізму;
- керуючі дії формуються безпосередньо з пульта ручного керування та подаються на виконавчі пристрої;
- у ПЛК передається дискретний сигнал, що підтверджує вибір ручного режиму роботи конкретного механізму.

Дистанційне та автоматизоване керування виконавчими пристроями і механізмами здійснюється за допомогою сигналів, сформованих програмованим логічним контролером.

Дистанційний режим передбачає пряме керування оператором станом виконавчого механізму з використанням операторських панелей і засобів введення команд у процесі оперативного управління.

Автоматичний режим полягає у формуванні та подачі керуючих впливів на виконавчі механізми відповідно до реалізованих у ПЛК алгоритмів автоматичного регулювання.

Перемикання між дистанційним і автоматизованим режимами керування здійснюється оператором шляхом введення необхідних команд через засоби введення операторських пультів оперативного управління.

Алгоритмічний (програмний) контроль технічного стану обладнання реалізується прикладним програмним забезпеченням з формуванням та відображенням актуальної оперативної інформації на основі результатів розв'язання визначених діагностичних завдань.

- контроль вірогідності вхідних аналогових сигналів;
- контроль вірогідності вхідних альтернативних дискретних сигналів;
- контроль відпрацьовування сформованих керуючих впливів.

Експлуатація системи здійснюється персоналом ДФ.

Час виконання операцій:

- логічних операцій – 0,18 мкс;
- операції з байтами – 0,78 мкс;

Тип оброблюваних вхідних аналогових сигналів – безперервні сигнали постійного струму в діапазоні 0-5 мА відповідно до вимог ДСТ 26.011.

Вхідні дискретні сигнали, що надходять у систему, можуть бути як постійного, так і змінного струму з номінальною напругою 220 В згідно з ДСТ 26.013.

Вихідні дискретні сигнали, що формуються системою керування, є сигналами змінного струму напругою 220 В з допустимим струмовим навантаженням не менше 4 А відповідно до ДСТ 26.013.

Гранично допустимий час спрацювання системи у разі виникнення небезпечного або аварійного режиму роботи технологічного обладнання не повинен перевищувати встановленого значення, с.

- напруга живлення технічних засобів – від 187 до 242 В;
- частота напруги живлення: від 49 до 51 Гц;

– споживана потужність технічними засобами – не більше 25 ВА;

– режим експлуатації – постійний.

Система є багатофункціональною, відновлюваною.

Середнє напрацювання на відмову системи – не менше 1000 год.

Середній час відновлення після відмови – не більше 1 год.

Коефіцієнт оперативної готовності системи – не менш 0,9.

Середній термін служби технічних засобів до списання – не менше 10 років.

1.3 Обґрунтування необхідності модернізації АСК ПТС скельного тракту

Аналіз процесу транспортування сланцевих порід і кварцитів у межах ПТС скельного тракту засвідчив, що для підвищення якості інформаційного забезпечення доцільним є створення системи візуалізації технологічного процесу, яка встановлюється на автоматизованому робочому місці диспетчера дробильної фабрики та забезпечує віддалений моніторинг роботи обладнання, накопичення й збереження даних, налаштування вимірювальних каналів та інші функції керування.

Метою розроблення і впровадження системи візуалізації є підвищення ефективності контролю та управління технологічним процесом, зокрема об'єктами, що знаходяться на значній відстані від пункту керування.

- підвищення ефективності роботи та ресурсозбереження;
- ведення технологічних процесів в оптимальних режимах;
- надання оперативної та достовірної технологічної інформації;
- протоколювання й архівування інформації, аналіз роботи операторів і обладнання, розбір аварійних ситуацій на підставі архівних даних;
- поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу;
- організація системи управління на сучасному рівні, перехід на якісно інший рівень управління технологічними процесами;
- оптимізація чисельності оперативного персоналу.

Розроблювана система диспетчерського контролю й керування забезпечує оперативне спостереження за процесами, що відбуваються на віддалених об'єктах скельного тракту, у режимі реального часу. Вона надає можливість дистанційно коригувати режими функціонування основного обладнання та засобів автоматизації, які обслуговують виробничі комплекси, а також здійснювати ручне й автоматичне керування з метою стабільного підтримання заданих параметрів технологічного процесу.

2 Огляд існуючих рішень та обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу

2.1 Аналіз вимог до процесів керування устаткуванням ПТС

Схеми автоматизованого керування поточно-транспортними системами формуються відповідно до визначених базових принципів і технічних вимог. При проектуванні враховуються умови експлуатації, рівень автоматизації та необхідна надійність функціонування обладнання.

У практиці застосовуються такі способи керування механізмами ПТС:

- локальне керування, яке реалізується за допомогою місцевих органів управління, встановлених безпосередньо біля механізмів; при цьому взаємні електричні блокування між окремими агрегатами відсутні;

- локальне заблоковане керування, за якого пуск і подальша робота механізмів здійснюються з місцевих пунктів, але їх послідовність визначається електричними блокуваннями відповідно до технологічного процесу;

- дистанційне групове керування, що передбачає управління кількома механізмами з одного поста, закріпленого за певною групою обладнання;

- дистанційне централізоване керування, при якому всі механізми ПТС контролюються та керуються оператором з єдиного пункту управління;

- дистанційне автоматизоване керування поточно-транспортними системами, яке полягає у введенні оператором команд (вибір режиму, пуск, зупинка, задання блокувань), їх автоматичній реалізації, а також у забезпеченні централізованого моніторингу та контролю роботи всієї ПТС.

Для запобігання завалам обладнання та виробничих приміщень матеріалом у системах керування механізмами ПТС необхідно передбачати комплекс захисних блокувань.

Запуск технологічного обладнання має виконуватися у послідовності, протилежній напрямку переміщення матеріального потоку. У разі аварійної зупинки будь-якого механізму повинно забезпечуватися автоматичне вимкнення всіх попередніх за ходом технологічного процесу агрегатів.

Для механізмів, робота яких у завантаженому стані є недопустимою, при аварійному зупиненні лінії необхідно негайно припиняти подачу матеріалу. Такі механізми повинні відключатися за окремою командою оператора або автоматично після повного вивантаження.

Обладнання, що за технологічною схемою розташоване перед клапанами, засувками, шиберами та подібними елементами, має бути взаємно заблоковане з механізмами, які приймають матеріал після них. Це забезпечує узгоджену та безпечну роботу всієї ділянки.

У системах керування механізмами, оснащеними аспіраційними установками, необхідно реалізувати блокування, що унеможливають пуск обладнання без попереднього вмикання аспірації. При зупиненні аспіраційної системи під час роботи ПТС повинна автоматично формуватися аварійна сигналізація.

Для механізмів, у складі яких використовуються металодетектори, мають бути передбачені захисні блокування, що запобігають проходженню металевих включень через контрольовану зону.

У системах керування конвеєрним транспортом слід застосовувати блокування та пристрої аварійного вимкнення відповідно до вимог чинних стандартів ССБТ.

Під час дистанційного керування запуск механізмів ПТС допускається лише після подачі передпускового звукового сигналу, який інформує персонал про запланований пуск обладнання. У зонах із підвищеним рівнем шуму додатково повинна застосовуватися світлова сигналізація як дублюючий засіб оповіщення.

Передпускова система попередження має функціонувати як при місцевому, так і при місцевому заблокованому керуванні у випадках, коли з пункту керування відсутня достатня видимість механізмів.

У разі, якщо до складу ПТС входять агрегати, запуск яких дозволяється виключно за присутності обслуговуючого персоналу, оператор зобов'язаний

отримати з виробничого підрозділу сигнали дозволу, що підтверджують готовність обладнання до пуску.

Для ПТС простої структури зазвичай є достатнім використання місцевого заблокованого керування. У складних технологічних системах, як правило, застосовується дистанційне керування. Вибір конкретного типу дистанційного керування визначається рівнем складності системи та має підтверджуватися техніко-економічним обґрунтуванням. При використанні централізованого керування або ДАК ПТС необхідно передбачати можливість місцевого керування для виконання ремонтних і налагоджувальних робіт, а доцільність застосування місцевого заблокованого режиму повинна бути аргументована в проєкті.

У системах ДАК ПТС доцільно також передбачати керування основними загальноцеховими установками. Крім того, така система має забезпечувати можливість аварійної зупинки ПТС безпосередньо з операторського пункту. Аварійне вимкнення повинно виконуватися миттєво, без попереднього розвантаження механізмів, тоді як у режимі штатної зупинки має забезпечуватися повне вивільнення обладнання від матеріалу.

У системах дистанційного керування ПТС необхідно забезпечувати безперервний контроль технічного стану всіх механізмів із використанням світлової та звукової сигналізації. Такі системи мають включати засоби телевимірювання як електричних, так і неелектричних параметрів, зокрема маси, продуктивності, швидкості руху, рівня заповнення, температури та інших показників, що потрібні для ефективного контролю й керування ПТС. Для ПТС підвищеної складності доцільно впроваджувати системи диспетчерського автоматизованого керування з використанням програмованих керувальних пристроїв, які можуть забезпечувати управління як окремими технологічними ділянками, так і всією системою в цілому.

2.2 Математичне забезпечення АСК ПТС скельного тракту

2.2.1 Формалізація завдань керування механізмами ПТС

Розроблення сучасних комп'ютеризованих засобів реалізації багатотактних алгоритмів керування ПТС на сьогодні є одним із пріоритетних напрямів, що зумовлено завершенням ресурсу експлуатації застарілого обладнання та переходом до нових рішень, побудованих на основі високопродуктивних промислових логічних контролерів. Технічні можливості сучасних систем дозволяють не лише забезпечувати ефективне керування технологічними процесами, а й застосовувати їх для підготовки та навчання операторського персоналу, проведення діагностики, аналізу поточних режимів і прогнозування розвитку виробничих ситуацій [5, 6]. У цьому контексті ключовими функціями апаратних засобів автоматизації ПТС є:

1. Формування маршруту переміщення матеріалу, реалізація дистанційного керування технологічними лініями з використанням засобів автоматизації, а також локальне керування окремими вузлами та агрегатами.

2. Розроблення та впровадження системи блокувань між виконавчими механізмами, що гарантує безпечне й безперервне транспортування матеріалу відповідно до заданої траєкторії руху.

3. Забезпечення світлової та звукової індикації стану маршрутів і обладнання, контролю рівня заповнення бункерів, положення шибєрних засувок, виникнення засмічень у тічках, а також фіксації аварійної зупинки обладнання ПТС.

У зв'язку з цим роботу поточно-транспортної системи доцільно описувати як багатотактну логічну математичну модель, у якій використовується двійкове подання сигналів: логічна «1» відповідає наявності сигналу, а логічний «0» – його відсутності. Такий підхід ґрунтується на моделі ПТС, запропонованій професором Зубовим Д. А. [7], і дозволяє формалізувати процеси керування та аналізу роботи системи.

$$\begin{cases} z_{П,1} = \wedge \vee (a_{П,1}, \dots, a_{П,m_{П}}, p_{П,1}, \dots, p_{П,s_{П}}, \tau_{П,1}, \dots, \tau_{П,w_{П}}); \\ \vdots \\ z_{П,n_{П}} = \wedge \vee (a_{П,1}, \dots, a_{П,m_{П}}, p_{П,1}, \dots, p_{П,s_{П}}, \tau_{П,1}, \dots, \tau_{П,w_{П}}), \end{cases} \quad (2.1)$$

де $z_{\Pi,1}, \dots, z_{\Pi,v_{\Pi}}$ – сукупність керуючих дій, що впливають на перебіг технологічного процесу, зокрема система сигналізації вздовж ланцюга механізмів і на операторському пульті, яка інформує про поточний або очікуваний стан об'єкта керування чи елементів керуючої системи та формує інформаційні виходи; $a_{\Pi,1}, \dots, a_{\Pi,m_{\Pi}}$ – спостережувані аргументи функції, інформація про зміну яких передається на інформаційні входи керувальних пристроїв через вимірювальні датчики та дії оператора; $p_{\Pi,1}, \dots, p_{\Pi,s_{\Pi}}$ – стан керування, що характеризується змінними $a_{\Pi,1}, \dots, a_{\Pi,m_{\Pi}}$ і визначає алгоритм керування ТП; $\tau_{\Pi,1}, \dots, \tau_{\Pi,w_{\Pi}}$ – змінні, які характеризують тривалість перебування ТП або КП в поточному режимі роботи, а також часові інтервали, необхідні для переходу між різними станами системи; $v_{\Pi}, m_{\Pi}, s_{\Pi}, w_{\Pi} \in Z$ – потужності множин керувальних дій, контрольованих параметрів, станів елементів системи керування та відповідних часових характеристик.

2.2.2 Алгоритм формування сигналів завдання в системі керування багатодвигунним електроприводом магістрального конвеєра

Магістральний конвеєр СК-1 скельного тракту дробильної фабрики оснащений багатодвигунним асинхронним електроприводом. Умови його експлуатації зумовлюють наявність низки специфічних характеристик, які висувають підвищені вимоги до вибору та реалізації алгоритмів керування. До таких вимог належать забезпечення плавного пуску з обмеженням короткочасних прискорень, формування пускового моменту, що істотно перевищує номінальне значення, а також скорочення тривалості пуску й гальмування за умови обмеження динамічних натягів конвеєрної стрічки та запобігання її пробуксовуванню.

Як локальні алгоритми керування багатодвигунним електроприводом доцільно застосовувати метод прямого керування моментом, який характеризується високою швидкістю контуру струму та можливістю

обмеження максимального струму на рівні номінального моменту. Використання такого підходу дозволяє підвищити надійність роботи електропривода та покращити динамічні показники конвеєра.

Конвеєрний транспорт ПТС скельного тракту як складова технологічного процесу має ще одну суттєву особливість – нерівномірність і випадковий характер надходження вантажу від суміжного обладнання. Зокрема, потік матеріалу формується дробаркою ККД-1500/180 ГРЦ, що призводить до змін навантаження на електропривод і потребує адаптивних властивостей системи керування.

Запропонований у джерелі [12] метод формування сигналів завдання в системі керування багатодвигунним асинхронним електроприводом, який враховує стохастичний характер навантажень, полягає у такому. Значення неузгодженості за навантаженням, що визначається фактичним струмом напівпровідникових перетворювачів, застосовується для адаптивного коригування завдання швидкості окремих електроприводів. Таким чином забезпечується перерозподіл навантаження між двигунами та підвищується стабільність роботи системи. Структуру алгоритму корекції сигналів завдання подано на рис.2.2.

1) Якщо, $M_1 = M_2$, то $K \cdot (M_1 - M_2) = 0$, отже сигнал корекції дорівнює 0.

2) Якщо, $M_1 > M_2$ то $K \cdot (M_1 - M_2) > 0$. Завдання на регулятор швидкості (РШ1) знижується, а на РШ2 збільшується.

3) Якщо $M_1 < M_2$, то $K \cdot (M_1 - M_2) < 0$. Уставка регулятора швидкості РШ1 підвищується, тоді як для регулятора РШ2 відбувається зменшення заданого значення.

Коефіцієнт K регулює ефективність зрівнювання моментів.

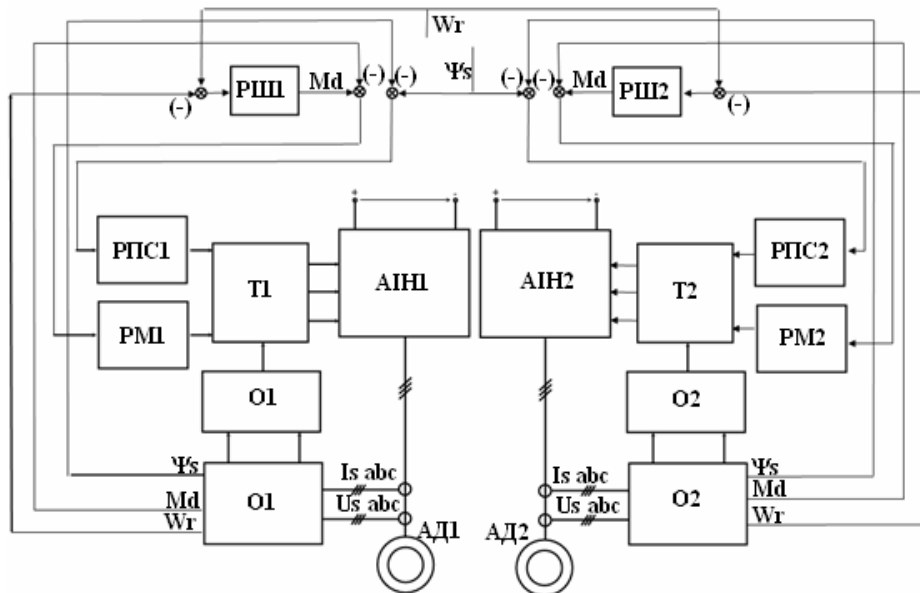


Рисунок 2.1 – Структурна схема математичної моделі багатодвигунного асинхронного електроприводу з частотним регулюванням і системою прямого керування моментом: РШ1, РШ2 – контури регулювання кутової швидкості; АІН1, АІН2 – автономні інвертори напруги живлення; Т1, Т2 – блоки таблиць комутації силових ключів інверторів; РПС1, РПС2 – регулятори вектору поточозчеплення статора; РМ1, РМ2 – блоки керування електромагнітним моментом; О1, О2 – обчислювальні модулі, що визначають кут повороту вектора поточозчеплення статора, значення моменту, поточозчеплення електродвигуна та частоту обертання ротора

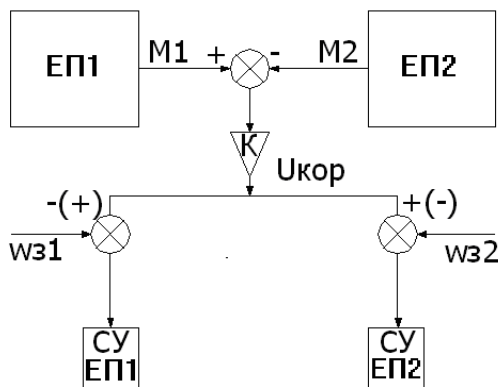


Рисунок 2.2 – Алгоритм коригування сигналів завдання: ЕП1, ЕП2 – електроприводи, $U_{кор}$ – коригуючий сигнал, $w_{з1}$, $w_{з2}$ – завдання швидкості, СУ ЕП1, СУ ЕП2 – системи управління електроприводами

На рис. 2.3 подано залежності моменту та кутової швидкості приводу змінного струму за умов випадкової зміни навантаження під час розгону до номінальної швидкості з подальшим гальмуванням до повної зупинки, а також при ступінчастому прикладанні навантаження [12]. Аналіз отриманих характеристик показує, що застосування запропонованого алгоритму керування забезпечує помітне зменшення перерегулювання та амплітуди коливань

електромагнітного моменту, що позитивно впливає на стабільність швидкісного режиму приводу.

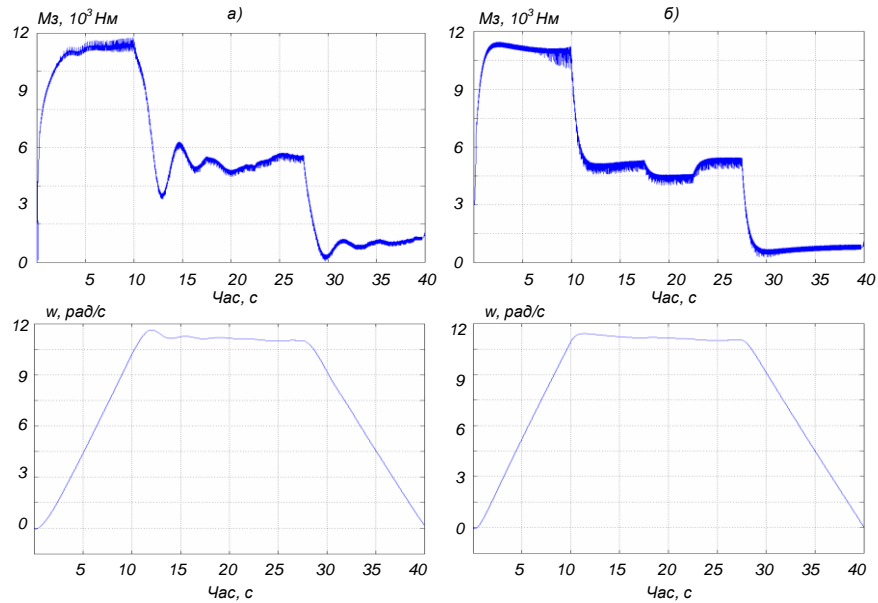


Рисунок 2.3 – Залежності моменту та кутової швидкості приводу без застосування корекції сигналів (а) і при використанні запропонованого алгоритмічного підходу (б)

Згідно з даними, наведеними автором джерела [12], упровадження алгоритму коригування завдання швидкості для окремих приводів забезпечує більш рівномірний розподіл навантаження між електродвигунами, при якому розбіжність не перевищує 10 %. Крім того, досягається зменшення перерегулювання моменту двигуна до рівня близько 15 %, що сприяє зниженню динамічних навантажень на привід конвеєра. Застосування алгоритму прямого керування моментом також дозволяє підвищити стійкість роботи системи та запобігти прослизанню конвеєрної стрічки за умов змінного режиму експлуатації.

2.3 Технічне забезпечення

2.3.1 Обґрунтування вибору структури комплексу технічних засобів АСК ПТС скельного тракту

З урахуванням специфіки функціональних завдань, що підлягають реалізації, зокрема:

– просторової розосередженості об'єкта автоматизації;
– потреби застосування керувальних алгоритмів різної складності та призначення (зокрема, методи керування приводними станціями істотно відрізняються від алгоритмів управління обладнанням дробильно-перевантажувального вузла);

– значної кількості вхідних і вихідних дискретних сигналів, а також сигналів від температурних перетворювачів, при загальній кількості оброблюваних та сформованих каналів близько 200;

– необхідності збереження наявних каналів зв'язку з аналоговими і дискретними датчиками, а також із виконавчими пристроями;

і з метою забезпечення відповідності вимогам, визначеним у першому розділі, автоматизована система керування виробничо-технологічним процесом скельного тракту дробильної фабрики має реалізовуватися за ієрархічною структурою та включати такі рівні:

1. верхній рівень – підсистема оперативного та диспетчерського керування;

2. середній (нижній) рівень – підсистеми керування окремими технологічними об'єктами;

3. польовий рівень – первинні датчики технологічних параметрів, виконавчі механізми та пускова апаратура.

Верхній рівень системи призначений для реалізації функцій оперативно-диспетчерського керування та віддаленого моніторингу технологічного обладнання об'єктів ПТС і ДПП. До структури підсистеми цього рівня входять дві автоматизовані робочі станції, оснащені засобами виведення та друку інформації. Основна станція оперативного керування розміщена в будівлі СП-2 у приміщенні оператора ДФ, тоді як резервна диспетчерська станція знаходиться в будівлі АБК у кабінеті енергетика ДФ. Обидві робочі станції забезпечують взаємне резервування та дублювання функцій, а також стабільну безперервну роботу в умовах короткочасних знижень напруги живлення.

Система верхнього рівня призначена для розв'язання таких завдань:

- формування та передавання диспетчером керуючих команд з автоматичним відстеженням їх виконання;

- візуалізація поточної технологічної інформації на робочих станціях у вигляді мнемосхем, графіків зміни контрольованих параметрів, а також журналів аварійних і службових подій;

- забезпечення розмежування доступу до даних за допомогою системи паролів;

- ведення обліку напрацювання основного та допоміжного обладнання в мотогодинах.

Також передбачена можливість:

- паралельного виконання розрахункових процедур та інших функціональних дій, включно з керування базами даних, підготовкою звітної документації й формуванням завдань;

- побудови централізованого переліку контрольованих параметрів із підтримкою створення глобальних змінних, доступних для всіх клієнтських застосунків програмного комплексу, який має механізм резервування OPC-серверів тощо.

На даному рівні передбачено технічні засоби підключення до мережевої інфраструктури, що забезпечує обмін даними з нижчим рівнем АСК ПТС та інтеграцію з вищими рівнями диспетчерського управління підприємством. Для побудови комунікаційної мережі між АБК і СП-2 заплановано застосування VDSL-модемів із використанням наявної виділеної телефонної лінії, виконаної у вигляді екранованої витої пари з перерізом жили 0,25 мм² та протяжністю близько 1200 м.

Нижчий рівень призначений для реалізації алгоритмів керування технологічним процесом, виконання функцій захисту обладнання та формування аварійної сигналізації у разі відхилення робочих параметрів від допустимих значень, а також для забезпечення стабільного інформаційного обміну з верхнім рівнем АСК ПТС. Реалізацію цього рівня доцільно здійснювати із застосуванням промислових програмованих логічних контролерів.

Традиційним підходом до проєктування архітектури комплексу технічних засобів нижнього рівня автоматизованої системи керування поточно-транспортною системою є централізована схема. За такого рішення для всієї конвеєрної лінії передбачається одна загальна шафа керування, у якій зосереджується вся пуско-захисна апаратура, перетворювачі частоти або пристрої плавного пуску. На фронтальній панелі розміщуються органи керування, сигнальні елементи, кнопки та перемикачі.

У разі реалізації складних алгоритмів керування до складу шафи додається програмований логічний контролер. Усі електроприводи, датчики, допоміжні елементи керування та кнопки аварійної зупинки з'єднуються з єдиною шафою за допомогою кабельних ліній.

За такого підходу для кожної конвеєрної лінії, що може відрізнитися кількістю та конфігурацією транспортних секцій, необхідно проєктувати індивідуальну шафу керування, яка зазвичай має значні габарити. Це призводить до збільшення тривалості проєктних робіт і часу комплектації, що може ускладнити дотримання встановлених термінів. Додатковими недоліками централізованої схеми є перевантаження кабельних трас та складність розміщення великогабаритного шафового обладнання безпосередньо на виробничому майданчику.

Останнім часом для побудови архітектури комплексу технічних засобів нижнього рівня АСК ПТС усе частіше застосовують розподілені системи керування. За такого підходу на кожній окремій ділянці технологічного процесу, зокрема на перевантажувальних пунктах або секціях конвеєра, встановлюється автономна шафа керування невеликих габаритів.

У межах цієї шафи розміщується пуско-захисна апаратура відповідних електроприводів, а на її дверцятах монтуються локальні органи керування, панельний контролер із підтримкою обміну даними з верхнім рівнем за промисловими протоколами зв'язку, наприклад Modbus, а також засоби візуальної індикації.

Застосування розподіленої структури забезпечує низку суттєвих переваг. У кабельних трасах прокладаються лише силові лінії та один інформаційний канал, тоді як допоміжні з'єднання мають мінімальну довжину завдяки розташуванню шафи безпосередньо біля привода. Це дозволяє використовувати уніфіковані шафи керування, які легко модифікуються під нові умови експлуатації та забезпечують швидке впровадження сучасних систем автоматизації.

Крім того, така архітектура підвищує завадостійкість інформаційних ліній. Скорочення довжини кабелів, що з'єднують електродвигуни з апаратурою керування, зменшує вплив електромагнітних завад, оскільки пристрої плавного пуску та частотні перетворювачі є потужними джерелами електричних перешкод.

З огляду на значну протяжність між окремими приводними станціями та переважувальними вузлами поточно-транспортної системи скельного тракту дробильної фабрики, найбільш раціональним є вибір розподіленого комплексу технічних засобів нижнього рівня АСК. Використання такого підходу в умовах ПТС скельного тракту забезпечує низку переваг, зокрема підвищення надійності керування, зменшення затримок передачі сигналів, спрощення масштабування системи та підвищення оперативності локального контролю технологічних процесів.

- компактне виконання – для кожної секції ПТС передбачено індивідуальну шафу керування з мінімальними габаритами;
- розміщення засобів керування у безпосередній близькості до керованого обладнання;
- зменшення витрат кабельної продукції та скорочення металевих конструкцій кабельних трас;
- забезпечення можливості інтеграції окремих секцій у єдину узгоджену систему керування;

– використання пристроїв плавного пуску або частотних перетворювачів, що сприяє подовженню ресурсу елементів транспортної системи, зокрема стрічок конвеєра, приводних редукторів та інших механізмів.

Таким чином, підсистеми керування об'єктами ПТС скельного тракту доцільно впроваджувати з використанням кількох програмованих логічних контролерів, які розміщуються безпосередньо поблизу технологічного обладнання. Результати аналізу технологічного процесу, наведеного в першому розділі, свідчать про доцільність застосування окремого ПЛК для кожної з відповідних підсистем автоматизованої системи керування ПТС скельного тракту:

- підсистема керування ПТС дробильно-перевантажувальним вузлом (ПСК-ДПП);
- підсистема керування ПТС лінією магістрального конвеєра СК-1 (ПСК-СК-1);
- підсистема керування ПТС лінією магістрального конвеєра СК-2 (ПСК-СК-2);
- підсистема керування реверсивно-пересувним конвеєром СК-3 (ПСК-СК-3).

За результатами аналізу кількості дискретних і аналогових вхідних та вихідних сигналів автоматизованої системи керування ПТС скельного тракту встановлено, що для реалізації функціональних можливостей ПСК-СК-2 доцільно застосувати програмований логічний контролер серії Modicon M340. Водночас для забезпечення роботи підсистем ПСК-ДПП, ПСК-СК-1 і ПСК-СК-3 раціональним є використання окремих ПЛК серії Modicon M238 виробництва компанії Schneider Electric, що відповідають вимогам за кількістю сигналів та функціональною гнучкістю.

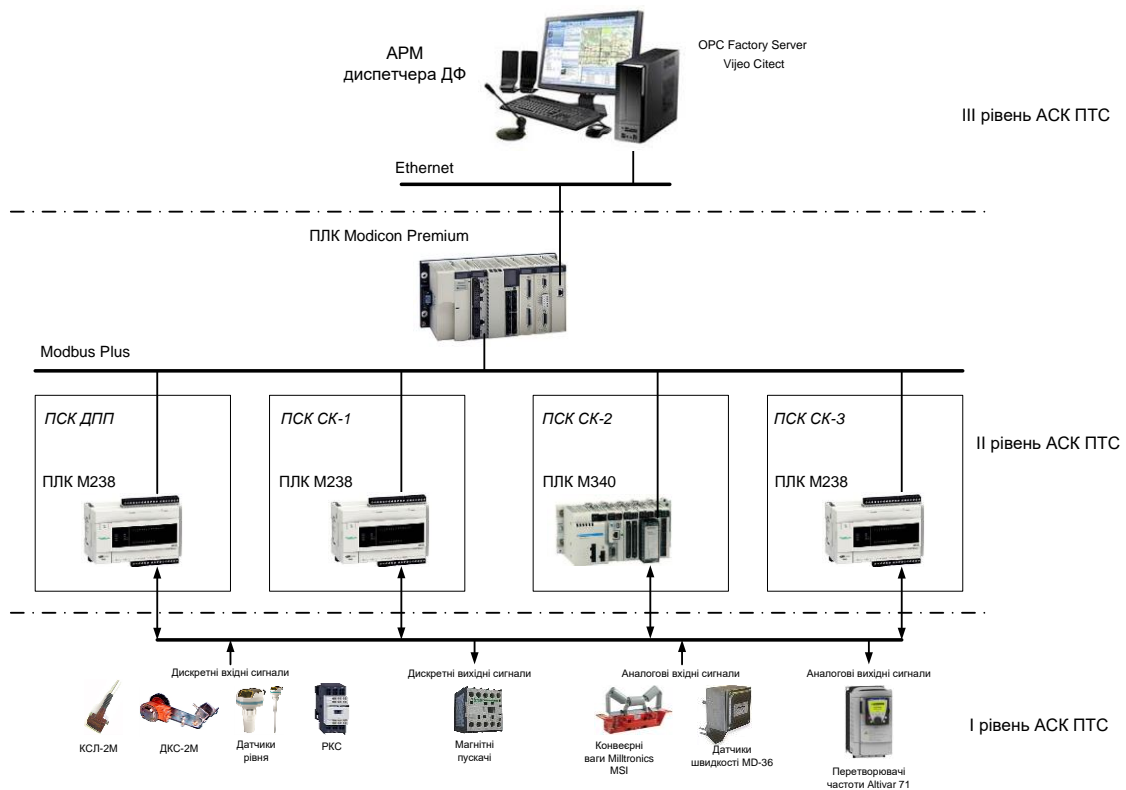


Рисунок 2.4 – Структура комплексу технічних засобів АСК ПТС скельного тракту дробильної фабрики ПрАТ «Полтавський ГЗК».

З метою забезпечення збору, оброблення технологічних даних і організації обміну інформацією з підсистемою верхнього рівня, що виконує функції оперативно-диспетчерського управління, доцільно передбачити окремий програмований логічний контролер серії Modicon Premium виробництва компанії Schneider Electric [18]. Контролери локальних підсистем керування обладнанням рекомендовано об'єднати за допомогою промислової мережі зв'язку Modbus Plus або Industrial Ethernet. Обмін даними між контролером Modicon Premium та верхнім рівнем АСК ПТС планується реалізувати через мережу Ethernet.

Польовий рівень системи формують первинні вимірювальні перетворювачі технологічних параметрів, зокрема датчики рівня матеріалу в дробарці, тиску мастильного матеріалу на вході та виході дробарки, а також конвеєрні ваги. Крім того, використовуються засоби контролю технічного стану обладнання: датчики наявності матеріалу на стрічці, контролю сходження та швидкості стрічки, кабельно-тросові вимикачі та інші апарати. До складу польового рівня також входять магнітні пускачі, частотні перетворювачі та

пристрої плавного пуску [2, 3]. Для узгодження сигналів датчиків зі стандартними вхідними діапазонами модулів ПЛК застосовуються перетворювачі аналогових сигналів.

Під час технічного переоснащення скельного тракту для вимірювання витрат матеріалу на стрічкових конвеєрах СК-1, СК-3, реверсивно-котючому конвеєрі СК-3 та конвеєрі просипу СК-4 доцільно використовувати конвеєрні терези типу Milltronics MSI виробництва компанії Siemens. Для коректної роботи системи зважування на конвеєрах необхідно додатково встановити датчики швидкості MD-36 фірми Siemens.

Для контролю заповнення бункерів передбачається застосування вітчизняних контактних датчиків рівня типу ДУ.

З метою приймання та обробки аналогових сигналів від датчиків температури й тиску мастила у складі промислових логічних контролерів доцільно використовувати перетворювачі аналогових сигналів 3RS1706-1FE00 виробництва Siemens, які забезпечують необхідну точність і надійність вимірювань.

Для реалізації плавного регулювання швидкості переміщення живильників ПП-2-24-60 доцільно інтегрувати в систему електропривода перетворювачі частоти серії Altivar 71 компанії Schneider Electric [19], що підвищує енергоефективність та стабільність роботи обладнання.

До польового рівня АСК процесами скельного тракту також належить оснащення пультів машиністів конвеєрів, які забезпечують можливість локального керування обладнанням у разі потреби. До їх складу входять панелі введення та відображення даних, кнопкові елементи, перемикачі та світлова сигналізація. Для безпосередньої індикації витрат компонентів доцільно застосувати програмований вимірювальний перетворювач з цифровим відображенням параметрів IPA 2000 фірми Scaime.

3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій

3.1 Вибір обладнання автоматизації першого рівня

Конвеєрні ваги

Конвеєрні ваги Milltronics з однією роликовою опорою типу MSI виробництва компанії Siemens належать до високоточного обладнання для безперервного контролю масового потоку матеріалів. Вони призначені для безперервного зважування сипких продуктів, що транспортуються стрічковими конвеєрами, та широко застосовуються у гірничодобувній, металургійній, харчовій і хімічній промисловості, де підтвердили високу надійність і стабільність роботи.

Використання у ваговому модулі тензодатчиків запатентованої прямокутної конфігурації забезпечує оперативну реакцію на дію вертикальних зусиль і швидке формування вимірювального сигналу під час появи навантаження. Завдяки цьому досягається висока точність та добра відтворюваність результатів навіть за умов нерівномірного розподілу матеріалу по стрічці та підвищеної швидкості її руху.

У поєднанні з мікропроцесорним інтегратором Milltronics система зважування MSI забезпечує відображення на засобах людино-машинного інтерфейсу миттєвої витрати матеріалу, сумарної маси, лінійного навантаження на стрічку та швидкості потоку. Швидкість руху конвеєрної стрічки визначається за допомогою датчика швидкості Milltronics, сигнал з якого передається безпосередньо на інтегратор для подальшої обробки.

Монтаж вагів на стрічковий конвеєр не потребує складних підготовчих робіт і виконується шляхом кріплення чотирма болтами з використанням стандартних роликів, встановлених на динамічній балці. Відсутність рухомих елементів у конструкції зменшує зношування та дозволяє звести технічне обслуговування до мінімуму, обмежуючись періодичним калібруванням системи.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики конвеєрних вагів Milltronics

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Точність	%	±0,5
2	Ширина стрічки	мм	від 500 до 2000
3	Швидкість стрічки	м/с	до 4
4	Витрата	т/год	до 5000 при максимальній швидкості стрічки
5	Профіль ролику		до 350 – розрахункова точність до 450 – з меншою точністю
6	Діаметр ролику	мм	від 50 до 180
7	Відстань між роликами	м	від 0,5 до 1,5
8	Характеристики тензодатчика: – корпус: – нелінійність: – стабільність:	 % %	 нержавіюча сталь з покращеним захистом від вологи; 0,02 від номінального вихідного сигналу; 0,01 від номінального виходу

Датчики швидкості

Датчики швидкості MD-36 компанії Siemens застосовуються у складі конвеєрних ваг Milltronics. Пристрій монтується безпосередньо на вал електродвигуна або обвідного ролика, що забезпечує точне визначення лінійної швидкості стрічки та усуває похибки, пов'язані з її проковзуванням чи налипанням матеріалу. Датчик зберігає високу точність вимірювань як за малих значень швидкості, так і під час її коливань у процесі роботи. Імпульсний перетворювач положення вала мінімізує вплив вібрацій і механічних коливань, запобігаючи появі хибних сигналів швидкості.

Перетворювачі аналогових сигналів

Для передавання сигналів від первинних вимірювальних датчиків до пристроїв обробки даних, зокрема промислових логічних контролерів, а також для формування керуючих впливів на виконавчі механізми застосовуються перетворювачі аналогових сигналів. У складі АСК ТП транспортування

матеріалів доцільно використовувати універсальні багатодіапазонні перетворювачі типу 3RS1706-1FE00 виробництва Siemens (табл.3.2).

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики перетворювача 3RS1706-1FE00

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Похибка перетворення при 23 °С	%	0,1
2	Нелінійність	%	0,02
3	Смуга пропускання	Гц	30
4	Час відгуку при стрибку рівня сигналу від 10 до 100 %	мс	10

Зазначені пристрої характеризуються підвищеною точністю вимірювання, високою лінійністю передавальної характеристики та забезпечують надійне гальванічне роз'єднання між датчиками, виконавчими механізмами і ПЛК. Перетворювач 3RS1706-1FE00 реалізує трьохстороннє гальванічне розв'язання, що охоплює вхідні, вихідні та кола живлення.

Конструктивно перетворювачі виконані у вигляді компактних модулів, призначених для монтажу на стандартну профільну DIN-рейку шириною 35 мм. Під'єднання до зовнішніх електричних кіл здійснюється через гвинтові клеми, що спрощує монтаж і обслуговування. Перетворювачі належать до активних пристроїв і працюють із використанням зовнішнього джерела живлення.

Тип вхідного сигналу задається під час налаштування перетворювача та може бути вибраний з таких робочих інтервалів: 0-60 мВ, 0-100 мВ, 0-300 мВ, 0-500 мВ, 0-1 В, 0-2 В, 0-5 В, 0-10 В, 0-20 В, 2-10 В, а також струмові діапазони 0-5 мА, 0-10 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, ± 5 мА і ± 20 мА. Формат вихідного сигналу налаштовується окремо та передбачає використання напругових або струмових стандартів 0-10 В, 0-20 мА чи 4-20 мА.

Вхідні електричні кола характеризуються опором 330 кОм під час роботи з напруговими сигналами та 100 Ом при обробці струмових сигналів. Вихідні каскади мають опір 55 Ом для напругового виходу в діапазоні 0-10 В, тоді як для струмових виходів 0-20 мА і 4-20 мА вихідний опір становить 400 Ом.

Блоки живлення

Для живлення первинних кіл, вимірювальних датчиків і перетворювачів доцільно застосувати стабілізовані джерела живлення типу 6EP1334-2AA00 серії SITOP виробництва компанії Siemens, розраховані на експлуатацію в умовах промислового середовища (табл.3.3).

Основними перевагами зазначених блоків живлення є:

- забезпечення високої стабільності вихідної напруги за наявності коливань напруги живильної мережі та різких змін струму навантаження;
- мінімальний рівень пульсацій на виході;
- ефективний захист від перевантажень і коротких замикань у вихідних колах;
- наявність гальванічної ізоляції між вхідними та вихідними ланцюгами;
- охолодження за рахунок природної конвекції без використання вентиляторів.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики блоку живлення 6EP1334-2AA00

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Діапазон вхідної напруги	В	187-264
2	Вихідна напруга	В	24
3	Діапазон встановлення	В	22,8–26,4
4	Вихідний струм	А	0–10
5	Залишкова пульсація (розмах), не більше	мВ	150
6	ККД, не менше	%	89
7	Можливість паралельного включення		Так
8	Діапазон робочих температур	°С	від 0 до +60
9	Маса	кг	0,78

Датчик сходження стрічки

Датчик КСЛ-2М (табл.3.4) використовується для виявлення аварійного бокового сходу конвеєрної стрічки та формування керуючого сигналу шляхом перемикання контактів, який передається до систем дистанційного або автоматичного керування [3]. Пристрій забезпечує працездатність у діапазоні температур навколишнього середовища від -15°C до $+50^{\circ}\text{C}$, а також за умов відносної вологості повітря до 100% при температурі 35°C .

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики датчику сходження стрічки КСЛ-

2М

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Максимальне значення постійного струму, що комутується, при нарузі до 30 В	А	0,5
2	Робочий хід привода, не більше	мм	60
3	Кількість циклів вмикання-розмикання при активному навантаженні, не менше		150000
4	Довжина кабельної лінії зв'язку між датчиком та пристроєм контролю швидкості, не більше	м	200
5	Габарити	мм	140x65x350
6	Маса, не більше	кг	2,1
7	Кліматичне виконання		УХЛ5

Датчик контролю швидкості

Датчик контролю швидкості ДКС-2М (табл.3.5) застосовується для формування електричного сигналу, який використовується під час контролю руху та визначення швидкості стрічки стрічкового конвеєра [3]. Пристрій ДКС-2М придатний для роботи у наземних умовах, у виробничих приміщеннях збагачувальних фабрик, а також у шахтах, небезпечних за наявністю метану або пилу. Експлуатація датчика допускається за температури навколишнього середовища в межах від -10 до $+45$ °С та відносної вологості повітря до 100 % за температури 35 °С.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики датчику контролю швидкості ДКС-2М

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Контрольована швидкість стрічки: – з діаметром ролика 110мм – з діаметром ролика 125мм – з діаметром ролика 200мм	м/с	до 2,8 до 3,15 від 3,15 до 5,0
2	Вид електричного сигналу		однофазна напруга змінного струму
3	Довжина кабельної лінії зв'язку між датчиком та пристроєм контролю швидкості, не більше	м	200
4	Габарити	мм	350x240x195
5	Маса	кг	4,5
6	Кліматичне виконання		УХЛ5

Вимикач кабель-тросовий КТВ-2М

Кабельно-тросовий вимикач КТВ-2М (табл.3.6) застосовується для аварійного відключення пуску та негайної зупинки приводів конвеєрів, зокрема вантажно-людських установок і транспортних канатних доріг, з будь-якої ділянки технологічного маршруту на гірничо-збагачувальних підприємствах, у шахтах, небезпечних за вмістом метану або пилу [3]. Пристрій розрахований на експлуатацію в умовах помірною та холодного клімату.

Вимикач характеризується високою надійністю та забезпечує до 18 000 циклів вмикання-вимикання в кожному напрямку без фіксації вимкненого стану, а також до 15 000 комутацій із закріпленням положення «вимкнено».

Допустимі режими функціонування передбачають:

- дистанційне керування без закріплення відключеного положення;
- локальне керування з фіксацією стану аварійного вимкнення.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики вимикача кабель-тросового

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Напруга, що комутується	В	30
2	Максимальна активна потужність, що комутується	ВА	6
3	Хід штока вимикача	мм	15±2
4	Зусилля натягу вимикача – початкове, не менше – кінцеве, не більше	Н	40 150
5	Маса, не більше	кг	2,8
6	Габарити	мм	270x235x110
7	Кліматичне виконання		УХЛ5

3.2 Вибір та обґрунтування ПЛК та модулів введення-виведення

Враховуючи вимоги до технічного оснащення АСК ПТС скельного тракту, а також кількість аналогових і дискретних сигналів, для побудови системи керування обладнанням підсистеми дробильно-перевантажувального пункту (ПКС-ДПП) обрано програмований логічний контролер Modicon M238 виробництва Schneider Electric.

Контролери Modicon M238 належать до класу універсальних компактних пристроїв типу «all-in-one» та мають малі габаритні розміри (157×118×86 мм без урахування модулів розширення). Підтримка кількох мов програмування, наявність вбудованих функцій і спеціалізованих функціональних блоків забезпечують високу гнучкість застосування цих ПЛК у промислових системах автоматизації.

Контролери Modicon M238 ефективно інтегруються з приводами змінної частоти Altivar, сервоприводами Lexium та операторськими панелями Magelis, що робить їх доцільними для керування конвеєрними лініями, пакувальним і фасувальним обладнанням та іншими технологічними установками. Зазначені характеристики забезпечують надійність і масштабованість системи керування в умовах дробильно-перевантажувального виробництва.

З урахуванням кількості каналів введення-виведення підсистеми ПКС-ДПП та необхідності формування резерву близько 30 % за їх числом, як процесорний блок доцільно обрати модуль TM238 LFAC24DR (табл.3.7). Для

приймання дискретних сигналів пропонується застосувати модуль TM2 DDI 32DK, для формування дискретних виходів – TM2 DDO 16UK. Аналогові входи реалізуються за допомогою двох модулів TM2 AMI 8HT, аналогові виходи – двома модулями TM2 AVO 2HT, додатково використовується комбінований модуль аналогових входів і виходів TM2 AMM 6HT.

Процесорний модуль TM238 LFAC24DR системи автоматизації Modicon M238 здійснює централізоване керування програмованим логічним контролером, який об'єднує модулі дискретного та аналогового введення-виведення, швидкісні лічильники й ведучі пристрої AS-Interface [17]. Кожний процесор оснащений захищеною вбудованою оперативною пам'яттю для збереження прикладних програм, підтримує обмін даними через послідовні інтерфейси RS-232/RS-485 з використанням середовища SoMachine, протоколів Modbus і ASCII, а також має інтерфейс ведучого вузла CANopen. Крім того, передбачена можливість підключення модемів і комунікаційних шлюзів через послідовні канали для розширення мережевої взаємодії з використанням Ethernet Modbus/TCP, Profibus DP, DeviceNet та інших промислових протоколів.

Розроблення прикладного програмного забезпечення виконується з використанням програмного комплексу SoMachine у середовищі операційних систем Windows 7 або Windows 10. Дане середовище надає повний набір засобів для програмування програмованих логічних контролерів із підтримкою мов, регламентованих міжнародним стандартом MEK 61131-3. Зокрема, реалізується програмування з використанням сходових діаграм (LD), структурованого тексту (ST), списку інструкцій (IL), функціональних блок-схем (FBD), послідовних функціональних схем (SFC), а також мови безперервних функціональних блоків (CFC), що забезпечує гнучкість та універсальність розробки систем автоматизації.

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики процесору TM238 LFAC24DR

Параметр		Значення	
Максимальна конфігурація		Максимальна кількість модулів	7
		Максимальна кількість входів	248
Функції	Вбудовані дискретні входи-виходи	Кількість входів 24 В постійного струму	14
		Аналогових каналів введення-виведення	4 транз., 6 релейних
	Вбудовані інтерфейси	Послідовний інтерфейс	2
		Шина CANopen	1
Пам'ять	Внутрішній ОЗП	Обсяг, Кб	2024
		Локалізовані змінні, Кб	120
		Система, Кб	900
		Область даних користувача, Кб	1000
	Захищений внутрішній ОЗП	Обсяг, Кб	10
		Змінні	8
Структура додатку		Головна задача	1
		Додаткові задачі	2
		Обробка подій	4
Час виконання		Одна стандартна логічна інструкція, мкс	0,971
		Одна стандартна цифрова інструкція, мкс	0,44
		Одна інструкція з плаваючою крапкою, мкс	5,11
Кількість інструкцій, що виконуються за 1 мс		70 % логічних та 30 % цифрових інструкцій	3000
Системні витрати		Введення-виведення та система, мс	0,9
		Керування рухом, мс	0,15

Обраний модуль дискретних входів TM2 DDI 32DK оснащений 32 входами, що працюють від джерела постійної напруги 24 В у допустимому діапазоні 20,4–28,8 В. Підключення здійснюється за допомогою уніфікованого роз'єму HE10 та системи швидкого монтажу Telefast ABE7. Вхідний струм одного каналу становить 5 мА, час реакції модуля – 4 мс, вхідний опір дорівнює 4,4 кОм. Загальне споживання струму всіма входами від внутрішнього джерела живлення не перевищує 65 мА. Передбачена електрична ізоляція між каналами

та внутрішньою логікою з рівнем міцності до 500 В змінного струму протягом однієї хвилини [17].

Модуль дискретних виходів TM2 DDO 16UK має 16 транзисторних каналів, розрахованих на роботу з напругою 24 В постійного струму в межах 20,4–28,8 В. Підключення виходів виконується через стандартний роз'єм HE10. Номінальний струм навантаження одного виходу становить 0,1 А, час спрацювання – близько 300 мкс. Сумарне споживання струму всіма вихідними каналами не перевищує 40 мА. Модуль забезпечує гальванічну розв'язку між каналами та внутрішньою схемою керування до 500 В змінного струму протягом 1 хвилини, а максимальна потужність активного навантаження становить 8 Вт [17].

Модулі аналогових входів TM2 AMI 8HT оснащені вісьмома каналами для приймання сигналів типу напруга або струм у діапазонах 0-10 В та 0-20 мА. Підключення здійснюється через гвинтову клемну коробку. Роздільна здатність аналого-цифрового перетворення складає 10 біт, що відповідає 1024 дискретним рівням, а максимальний період дискретизації – 160 мс. Гранична похибка вимірювання не перевищує 1 % від приведеної шкали. Конструкцією передбачена оптична розв'язка між входами та системною шиною. Живлення модуля здійснюється від зовнішнього джерела постійної напруги 24 В у діапазоні 20,4–28,8 В, при цьому споживання становить до 45 мА від зовнішнього джерела та до 60 мА від внутрішнього живлення 5 В [17].

Обрані модулі аналогових виходів TM2 AVO 2HT оснащені двома вихідними каналами типу напруга (± 10 В) та підключаються за допомогою гвинтових клем. Роздільна здатність становить 11 біт (2048 відліків із урахуванням знака), час встановлення сигналу – 2 мс, гранична похибка не перевищує ± 1 % від приведеної шкали, а діелектрична міцність досягає 2500 В змінного струму. Живлення модуля здійснюється від зовнішнього джерела постійного струму з номіналом 24 В у діапазоні 19,2–30 В з урахуванням пульсацій. Максимальний струм споживання складає 60 мА від лінії 24 В та додатково 60 мА від внутрішнього джерела напругою 5 В.

Комбінований модуль аналогових входів і виходів TM2 АММ 6НТ має чотири вхідні та два вихідні канали, що підтримують роботу з напругою та струмом, із підключенням через гвинтові клеми. Вхідні кола розраховані на діапазони 0-10 В і 4-20 мА, забезпечують роздільну здатність 12 біт (4096 рівнів), максимальний інтервал дискретизації 16 мс та похибку в межах ± 1 % від шкали. Вихідні канали працюють у діапазонах 0-10 В і 4-20 мА, мають таку саму роздільну здатність, час стабілізації сигналу 20 мс і аналогічний рівень похибки. Діелектрична міцність модуля складає 2500 В змінного струму. Живлення здійснюється від зовнішнього джерела 24 В постійного струму з допустимим діапазоном 19,2–30 В; споживання не перевищує 80 мА по лінії 24 В та 60 мА по внутрішньому колу 5 В. Електрична ізоляція між вхідними й вихідними каналами становить 800 В, між каналами та колом живлення – 800 В, а між каналами та внутрішньою логікою – 1500 В змінного струму.

Для реалізації функцій керування у підсистемі керування обладнанням тракту конвеєра СК-1 (ПКС-СК-1) доцільно застосувати процесорний модуль TM238 LFAC24DR. Введення дискретних сигналів забезпечується модулем TM2 DDI 32DK, формування дискретних виходів – модулем TM2 DDO 16UK. Аналогові сигнали вводяться за допомогою двох модулів TM2 АМІ 8НТ, а виведення здійснюється через один модуль TM2 АVO 2НТ, технічні параметри яких наведені раніше.

У підсистемі керування реверсивно-котючим конвеєром СК-3 (ПКС-СК-3) також рекомендовано використати процесор TM238 LFAC24DR. Для приймання дискретних сигналів застосовується TM2 DDI 32DK, для формування дискретних команд – TM2 DDO 16UK. Аналогові входи реалізуються одним модулем TM2 АМІ 8НТ, а аналогові виходи – модулем TM2 АVO 2НТ.

З урахуванням необхідної кількості дискретних і аналогових каналів введення та виведення підсистему керування обладнанням тракту конвеєра СК-2 (ПКС-СК-2) доцільно побудувати на базі платформи автоматизації Modicon M340. У якості процесорного ядра рекомендовано використати модуль BMX P34 2020 із блоком живлення BMX CPS 2000, встановлені на шасі BMX XBP 1200.

Для введення дискретних сигналів застосовуються модулі ВМХ DDI 3202К та ВМХ DDI 1602, для формування дискретних виходів – модуль ВМХ DDO 3202К. Аналогові входи реалізуються чотирма модулями ВМХ АМІ 0810, а аналогові виходи – двома модулями ВМХ АМО 0410.

Зовнішній вигляд ПЛК з обраними функціональними модулями подано на рис.3.1, а порядок їх розміщення на шасі контролера наведено в табл.3.8.



Рисунок 3.1 – Структурна схема програмованого логічного контролера, призначеного для виконання функцій автоматичного керування конвеєрною лінією СК-2 під час роботи в умовах скельного тракту

Процесорні модулі серії ВМХ Р34 характеризуються високими експлуатаційними показниками, раціонально підібраним обсягом пам'яті та зниженою масою, що забезпечує їх ефективне використання в системах промислової автоматизації. Завдяки поєднанню продуктивності й компактності ці модулі є доцільним вибором для побудови сучасних керуючих комплексів.

Процесорний модуль ВМХ Р34 2020 з підвищеною швидкістю призначений для централізованого керування роботою станції ПЛК та виконує такі основні функції:

- керування дискретними модулями введення та виведення сигналів;
- обробка інформації з аналогових модулів входів і виходів;
- робота з лічильними та імпульсними модулями;
- забезпечення обміну даними та підтримка комунікаційних інтерфейсів.

Таблиця 3.8 – Конфігурація керуючого контролера підсистеми керування конвеєрним трактом СК-2

№ шасі	Назва шасі	Позиція модуля на шасі	Назва модуля	Призначення
0	BMX ХВР 1200		BMX CPS 2000	Блок живлення
		1	BMX P34 2020	Процесорний блок
		2	BMX DDI 3202K	Модуль дискретних входів
		3	BMX DDI 1602	Модуль дискретних входів
		4	BMX DDO 3202K	Модуль дискретних виходів
		5	BMX AMI 0810	Модуль аналогових входів
		6	BMX AMI 0810	Модуль аналогових входів
		7	BMX AMI 0810	Модуль аналогових входів
		8	BMX AMI 0810	Модуль аналогових входів
		9	BMX AMO 0410	Модуль аналогових виходів
		10	BMX AMO 0410	Модуль аналогових виходів
		11	–	Резерв
12	–	Резерв		

Модуль блока живлення BMX CPS 2000 призначений для подачі електроживлення на всі модулі, змонтовані у складі ПЛК. Підбір джерела живлення виконується з урахуванням номінальної напруги мережі та сумарної потужності споживання модулів, розміщених на шасі контролера. Основні технічні параметри даного модуля подано в табл.3.10.

Модуль BMX DDI 3202 K призначений для приймання дискретних сигналів постійної напруги 24 В і підключається за допомогою 40-контактного роз'єму. Пристрій працює за схемою з позитивною логікою типу «сток», а його 32 вхідні канали забезпечують приймання струмових сигналів від підключених датчиків.

Таблиця 3.9 –Технічні характеристики процесорного модуля BMX P34 2020

Параметри			Значення
Функції	Максимальна кількість каналів	Дискретних входів-виходів на корзину	1024
		Аналогових входів-виходів на корзину	256
		Каналів лічильних модулів	36
		Канал зв'язку Ethernet	2
	Кількість вбудованих портів	Порт USB	1
		Послідовний зв'язок Modbus	1
		Порт Ethernet	1
	Годинник реального часу		+
Обсяг пам'яті, що зберігається в програмі, Кб			256
Структура програми	Головна задача		1
	Швидка задача		1
	Обробка подій		64
Швидкість виконання коду програми	Внутрішнє ОЗП	100% логічних інструкцій, кІнстр/мс	8,1
		65 % логічних та 35 % цифрових інструкцій, кІнстр/мс	6,4
Час виконання	Одна базова логічна інструкція, мкс		0,12
	Одна базова цифрова інструкція, мкс		0,17
	Одна базова інструкція з плаваючою крапкою, мкс		0,16

Для виконання завдань автоматизованого керування процесами пуску й зупинки обладнання конвеєрного тракту СК-2 раціонально застосувати модуль ВМХ DDO 3202К. Даний пристрій являє собою модуль дискретних виходів на напругу 24 В постійного струму та передбачає під'єднання зовнішніх кіл через 40-контактну клемну колодку, що відповідає наведеним у табл.3.11 технічним характеристикам.

Таблиця 3.10 – Характеристики блоку живлення ВМХ CPS 2000

Параметр			Значення	
Первинні кола	Напруга	Номинальна, В	від 100 до 240 змін.	
		Максимальне значення, В	від 85 до 264 змін.	
	Частота	Номинальна/максимальна, Гц	від 50 до 60	
	Струм	Номинальний вхідний струм, А	≤ 0,3 при 240В змін.	
	Початковий запуск при t=25 °С	Пусковий струм, А	≤ 75 при 240В змін.	
	Вбудований захист		Плавкий запобіжник 4 А	
Вторинні кола	Потужність	Загальна, що споживається, Вт	26	
	Вихід 5 В, пост.	Номинальна напруга, В	5,1	
		Номинальний струм, А	5	
		Потужність (типова), Вт	25	
Вторинні кола	Вихід 24 В, пост.	Номинальна напруга, В	24	
		Номинальний струм, А	0,6	
	Вихід 24 В для датчиків, пост., А	Потужність (типова), Вт	15	
			0,5	
	Вбудований захист виходів		Від перевантажень, короткого замикання та перенапруги	
	Електрична міцність діелектрику			IEC-1131-2
		Первинний/вторинний і первинний/земля, В		2000
		Опір ізоляції	Первинний/вторинний і первинний/земля, МОм	≥100
Відповідність стандартам				
Ізоляція				

Таблиця 3.11 – Технічні характеристики модуля BMX DDO 3202K

Параметр		Значення
Модуль ВМХ DDO 3202К		Транзисторні виходи постійного струму
Номінальні характеристики виходів	Напруга, В	24 пост. струму
	Струм, В	0,1
	Логіка	Додатня
Потужність лампи розжарювання, Вт		До 1,2
Остаточна напруга, В		До 1,5
Мінімальний опір навантаження, Ом		220
Швидкість спрацьовування, мс		1,2
Максимальна тривалість перевантаження, мс		15
Поріг напруги пускача	В стані 0, В	Більше 18
	Несправність, В	До 14
Опір ізоляції, МОМ		До 10 при напрузі 500 В постійного струму
Максимальна споживана потужність, Вт		3,6

Для приймання аналогових сигналів від первинних перетворювачів у складі ПЛК доцільно застосувати аналогові вхідні модулі ВМХ АМІ 0410, які являють собою чотириканальні промислові засоби вимірювання високорівневих сигналів. У поєднанні з датчиками ці модулі забезпечують функції вимірювання, контролю та безперервного моніторингу перебігу технологічного процесу.

Налаштування меж зміни вхідних сигналів здійснюється під час конфігурування модуля ВМХ АМІ 0410 окремо для кожного каналу. Підтримувані діапазони вхідних сигналів можуть мати такі значення: ± 10 В; 0 – 10 В; 0 – 5 В / 0 – 20 мА; 1 – 5 В / 4 – 20 мА; ± 5 В / ± 20 мА.

Модуль функціонує з вхідними сигналами напруги. У його схемі передбачено чотири резистивні елементи, під'єднані до клемної колодки, що забезпечує можливість перетворення та оброблення вхідних сигналів за струмом.

Для формування та передавання керуючих аналогових сигналів у складі модульного ПЛК Modicon М340 доцільно застосувати модуль аналогових виходів ВМХ АМО 0410, який оснащений двома гальванічно розділеними аналоговими каналами.

Вибір і задання діапазонів зміни вихідного сигналу здійснюється на етапі конфігурування модуля окремо для кожного каналу, що забезпечує гнучке

налаштування під вимоги системи автоматичного керування: ± 10 В; 0 – 20 мА; 4 – 20 мА.

Цифро-аналогове перетворення виконується для:

- цифрового значення довжиною 16 біт для діапазону ± 10 В;
- цифрового значення довжиною 15 біт для діапазонів 0 – 20 мА та 4 – 20 мА.

Для забезпечення функцій збирання та обробки технологічних даних, а також організації обміну інформацією з підсистемою верхнього рівня оперативно-диспетчерського керування, обрано автономний програмований логічний контролер серії Modicon Premium виробництва Schneider Electric. Контролери лінійки TSX Premium вирізняються значною продуктивністю, високим рівнем надійності, підтримкою побудови розподілених систем введення-виведення та можливістю реалізації різних мережних рішень за відносно помірної вартості порівняно з аналогами цього класу [18].

Промисловий контролер TSX Premium виконаний за модульним принципом, оснащений вбудованим астрономічним годинником, підтримує розширення обсягу пам'яті та встановлення додаткових комунікаційних модулів. Також він має інтегровані аналогові входи і виходи, а також лічильні канали для обробки імпульсних сигналів.

З урахуванням кількості вхідних і вихідних сигналів АСК та порівняльного аналізу обчислювальних характеристик процесорних модулів серії TSX Premium доцільним є застосування процесорного блока TSX 57 2634М. Кожен процесорний модуль оснащений захищеною вбудованою оперативною пам'яттю для зберігання прикладних програм із можливістю її розширення за допомогою PCMCIA-карти, інтерфейсом для підключення програматорів або операторських панелей, а також засобами обміну даними через PCMCIA-модулі за протоколами Modbus Plus, Uni-Telway, AS-i та CANopen.

Процесор TSX 57 2634М належить до стандартної серії Premium та обладнаний інтегрованим Ethernet-портом TCP/IP 100Base-TX, що забезпечує надійний зв'язок із іншими програмованими контролерами, промисловими

комп'ютерами й автоматизованими робочими місцями персоналу через мережу Ethernet [18].

Розроблення прикладного програмного забезпечення виконується з використанням середовища Unity Pro під керуванням операційних систем Windows 7 або Windows 10. Дане середовище надає такі функціональні можливості:

- підтримку п'яти стандартних мов програмування: сходових діаграм (LD), структурованого тексту (ST), списку інструкцій (IL), функціональних блок-схем (FBD) та послідовних функціональних схем (SFC);

- організацію багатозадачної архітектури програм із виділенням основної, швидкодіючої задачі та обробки подій;

- коригування програмного коду без зупинки процесу керування, тобто в режимі реального часу.

Проведений аналіз технічних параметрів процесорного модуля контролера Premium свідчить про його відповідність вимогам щодо обчислювальних можливостей, швидкості обробки даних, обсягу оперативної пам'яті та кількості каналів введення-виведення. Це дає підстави використовувати даний контролер для реалізації алгоритмів керування в автоматизованій системі керування технологічними процесами транспортування матеріалів на ДФ ПрАТ «Полтавський ГЗК».

4 Розробка системи візуалізації процесу транспортування сланцевих порід

4.1 Програмне забезпечення АСК ПТС скельного тракту

Програмне забезпечення АСК ПТС скельного тракту дробильної фабрики включає керуюче програмне ядро контролера та систему моніторингу і візуалізації технологічного процесу, розгорнуту на автоматизованому робочому місці диспетчера дробильної фабрики.

Керуюча програма контролера TSX Premium, яка працює на другому ієрархічному рівні автоматизованої системи керування поточно-транспортним комплексом скельного тракту, забезпечує виконання таких функцій:

- приймання, перетворення та логічну обробку сигналів від первинних датчиків, що інформують про поточний стан технологічного обладнання;
- оцінювання режимів роботи та визначення технічного стану елементів поточно-транспортної системи;
- формування команд на запуск і зупинку технологічних механізмів відповідно до заданих алгоритмів;
- реалізацію технологічних блокувань, систем захисту та аварійної й попереджувальної сигналізації;
- обмін інформацією з суміжними підсистемами та взаємодію із системою керування верхнього рівня.

Для створення керуючого програмного забезпечення ПЛК із застосуванням мов програмування, регламентованих стандартом МЕК 61131-3, використовується програмний комплекс Unity Pro XL версії 6.0 компанії Schneider Electric [16-17]. З'єднання між робочими станціями та програмованими контролерами реалізується через мережу ETNWAY із використанням протоколу TCP/IP. З метою підвищення зручності налагодження, обслуговування та контролю роботи системи, а також для спрощення розробки програм керування на програматорах, що експлуатуються персоналом АСК ПТС скельного тракту, доцільно впровадити спрощену систему візуалізації технологічного процесу на основі інструменту Runtime Screens, який входить до складу пакету Unity Pro XL 6.0.

Для отримання даних про перебіг технологічного процесу та технічний стан обладнання на робочому місці диспетчера ДФ, оснащеному персональним комп'ютером, доцільно застосувати OPC-сервер. Він слугує універсальним інтерфейсом обміну інформацією між SCADA-системами та контролерами або пристроями введення-виведення. Як OPC-сервер для контролерів компанії Schneider Electric раціонально використовувати OPC Factory Server (OFS).

OPC-сервер забезпечує паралельне зчитування значень внутрішніх змінних з великої кількості програмованих логічних контролерів і передає ці дані клієнтським застосункам. Завдяки цьому він може виконувати функції драйвера взаємодії між HMI/SCADA-системами різних виробників та будь-якими ПЛК. Це надає персоналу АСК ПТС скельного тракту ДФ можливість самостійно розробляти прикладні програми третього рівня, зокрема для візуалізації параметрів процесу та формування звітної документації, із використанням сучасних мов програмування, таких як Microsoft Visual Basic або Microsoft Visual C++.

Для реалізації людино-машинного інтерфейсу третього рівня АСК ПТС скельного тракту ДФ впроваджується система моніторингу й візуального відображення технологічного процесу на основі сучасного SCADA-програмного забезпечення. У процесі експлуатації система візуалізації через мережу Ethernet взаємодіє з OPC-сервером, здійснюючи приймання та передавання необхідної інформації про стан процесу. Клієнт-серверна побудова сучасних SCADA-рішень дає змогу організувати розподілений збір даних і керування на верхньому рівні автоматизації з роботою в режимі реального часу.

Проведений огляд SCADA-систем, представлених на ринку промислової автоматизації, свідчить, що для створення системи диспетчерського контролю та візуалізації процесів керування поточно-транспортною системою скельного тракту в умовах дробильної фабрики ГЗК доцільним є застосування програмного продукту Vijeo Citect компанії Schneider Electric. Vijeo Citect належить до рівня HMI/SCADA та є універсальним інструментом для моніторингу, керування технологічними процесами і збору виробничих даних.

Зазначене програмне забезпечення розроблялося як комплексне рішення, здатне реалізувати всі вимоги підприємства в межах єдиної інтегрованої платформи. Архітектура Vijeo Citect передбачає наявність повного набору засобів, що виключає потребу у використанні сторонніх програм і запобігає розподілу інформації між різними системами.

До складу Vijeo Citect входять усі основні функціональні модулі, зокрема обробка трендів, система тривоги, формування звітів, підтримка промислових драйверів і комунікаційних протоколів, що забезпечує розробнику цілісне середовище для створення та супроводу проєкту. Застосування цієї SCADA-системи дає змогу розширити функціональні можливості системи контролю й візуалізації, спростити процес експлуатації, підвищити ефективність роботи персоналу та зменшити строки впровадження автоматизованого рішення.

Високий рівень автоматизації внутрішніх операцій, повнота функцій, а також розвинені механізми контролю якості й тестування забезпечують підвищену надійність Vijeo Citect. Завдяки цьому програмний продукт може успішно застосовуватися у відповідальних та критично важливих галузях промисловості, зокрема в енергетиці, авіаційній та інших високотехнологічних сферах.

Програмний комплекс Vijeo Citect включає середовище проєктування Vijeo Citect Explorer та середовище виконання Vijeo Citect Runtime. Інструменти розробки систем візуалізації об'єднують низку функціональних модулів: провідник проєктів Citect Explorer, що забезпечує ієрархічне відображення структури проєктів і доступ до їх стандартних каталогів; редактор конфігурації Project Editor, призначений для створення та налаштування параметрів, не пов'язаних із графічною частиною; графічний редактор Citect Graphics Builder, який використовується для формування та коригування користувацького інтерфейсу; а також Cicode Editor, що дає змогу розробляти та редагувати програмні алгоритми відповідно до вимог конкретного проєкту.

Використання системи Vijeo Citect для реалізації третього рівня АСК ПТС скельного тракту завдяки розвинутому інструментарію забезпечує графічне

відображення перебігу технологічного процесу, оперативний контроль трендів у режимі реального часу з доступом до архівних даних, формування аналітичних звітів, гнучке керування аварійними повідомленнями, паралельне виконання підпрограм, створених мовами CitectVBA та CiCode, а також можливість дистанційного спостереження й керування процесом через веб-браузери, зокрема Microsoft Internet Explorer, Opera або Google Chrome.

Важливою перевагою SCADA-системи Vijeo Citect є наявність безкоштовного середовища розробки, що вигідно відрізняє її від багатьох аналогів. У загальну вартість програмного пакета входить лише ліцензування середовища виконання. Додатково ліцензійна політика базується на кількості комп'ютерів, які одночасно працюють у системі, а не на загальній кількості встановлених копій програмного забезпечення.

4.2 Розробка проєкту системи візуалізації процесу керування ПТС

4.2.1 Основні вимоги до функціональності системи візуалізації

На підставі аналізу технологічного процесу переміщення скельних порід в умовах ДФ ГЗК та вимог, що висуваються до автоматизованої системи керування, встановлено, що система візуалізації повинна забезпечувати відображення узагальненої мнемосхеми технологічного процесу з повним переліком обладнання, задіяного у транспортуванні скельної маси. Окрім цього, необхідно передбачити окремі екрани для відображення параметрів кожної одиниці технологічного обладнання, графіків зміни основних показників у часі, сторінки формування звітів щодо роботи скельного тракту за визначені періоди, а також інтерфейси для виведення технологічних повідомлень і аварійних сигналів.

На загальній мнемосхемі доцільно у спрощеному вигляді показати весь комплекс обладнання поточно-транспортної системи скельного тракту дробильної фабрики разом з ключовими параметрами, що характеризують його роботу, зокрема стан механізмів, обраний режим керування, рівень

продуктивності, величину споживаної потужності, швидкість руху та інші експлуатаційні показники.

Для основних механізмів рекомендовано передбачити окремі інформаційні сторінки, на яких відображається їх поточний стан, режим роботи, наявність блокувальних взаємозв'язків із суміжним обладнанням, діагностичні та попереджувальні повідомлення, а також аналогові параметри, що описують процес функціонування. Додатково на цих сторінках доцільно реалізувати побудову часових діаграм зміни відповідних показників.

Окремі сторінки з детальною інформацією про роботу механізмів доцільно передбачити для таких одиниць обладнання: конусної дробарки ККД-1500/180 ГРЦ, живильників ПП1-ПП4, магістральних конвеєрів СК-1 і СК-2, реверсивно-котючого конвеєра СК-3 та конвеєра просипу СК-4.

4.2.2 Налаштування програмного забезпечення Vijeo Citect

Перед початком роботи необхідно виконати початкове конфігурування середовища SCADA-системи. Подані нижче екранні форми середовища розробки Vijeo Citect відображають базові (глобальні) параметри SCADA, які забезпечують коректне з'єднання та обмін даними між програмованим логічним контролером TSX P57 2634M і підсистемою візуалізації та диспетчерського керування.

Базові параметри налаштування пристроїв і каналів вводу-виводу показані на рис. 4.1, де відображено структуру взаємодії між контролером, сервером та SCADA-середовищем.

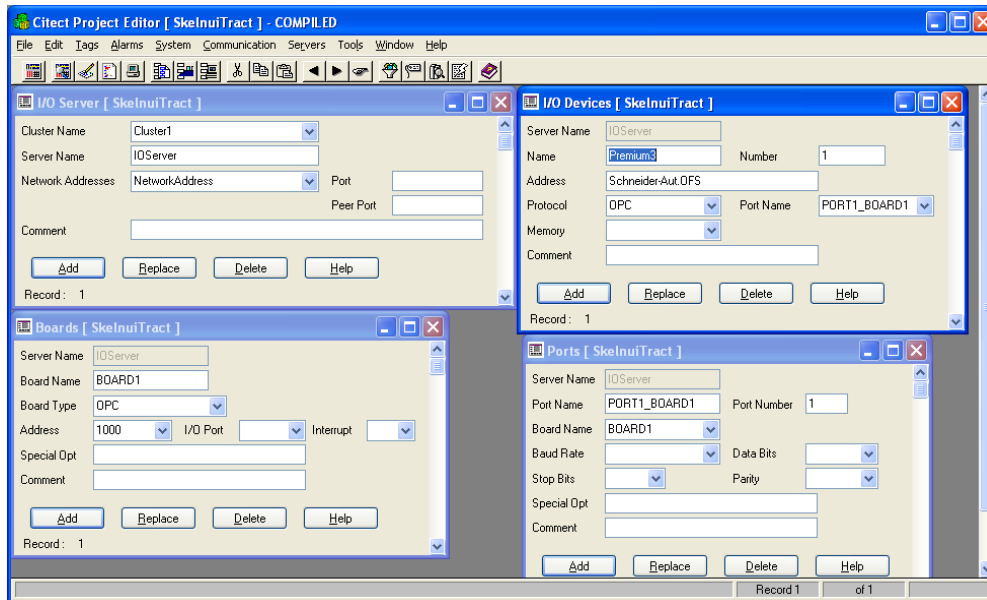


Рисунок 4.1 – Конфігурація портів і пристроїв введення-виведення системи візуалізації

Відображення компонентів людино-машинного інтерфейсу в SCADA-системі реалізується з використанням типових функціональних модулів Vijeo Citect. Сервер введення-виведення (I/O Server) відповідає за обмін даними між фізичними пристроями вводу-виводу та іншими складовими програмного комплексу Vijeo Citect. Клієнт візуалізації (Display Client) формує операторський інтерфейс, забезпечуючи показ технологічних параметрів, що надходять з інших модулів, а також керування виконанням команд оператора.

Сервер аварійних повідомлень (Alarm Server) здійснює контроль поточних значень, порівнює їх із заданими допустимими межами, перевіряє виконання логічних умов та відображає попередження й аварійні сигнали на вузлі візуалізації. Сервер звітів (Report Server) призначений для автоматичного формування звітної інформації після завершення визначеного інтервалу часу, при настанні заданої події або за ініціативою оператора.

Сервер трендів (Trend Server) виконує накопичення та реєстрацію трендових даних, що дає змогу відстежувати динаміку технологічного процесу в реальному часі або аналізувати його перебіг у ретроспективі шляхом перегляду трендів у спеціальному вікні чи збережених файлах.

Для впровадження системи візуалізації процесу керування поточно-транспортною системою скельного тракту ДФ необхідно виконати конфігурацію відповідних функціональних модулів Vijeo Citect. Зокрема, передбачено створення одного кластера з назвою «Cluster1», а також задання мережевих адрес комп'ютерів, на яких розгортатимуться серверні компоненти.

Також налаштовуються сервер введення-виведення з ідентифікатором «IOServer», який забезпечує обмін даними з польовими пристроями, сервер трендів «TrendServer», сервер аварійних повідомлень «AlarmServer» і сервер звітності «ReportServer».

З огляду на те, що всі серверні компоненти розміщуються на одному персональному комп'ютері автоматизованого робочого місця диспетчера ДФ, у параметрах налаштування серверів введення-виведення, трендів, тривоги і звітів у полі Network Addresses вказується попередньо створена мережа «NetworkAddress», а у полі «Cluster Name» задається значення «Cluster1».

Основні налаштування середовища та серверів SCADA-системи наведено на рис. 4.2.

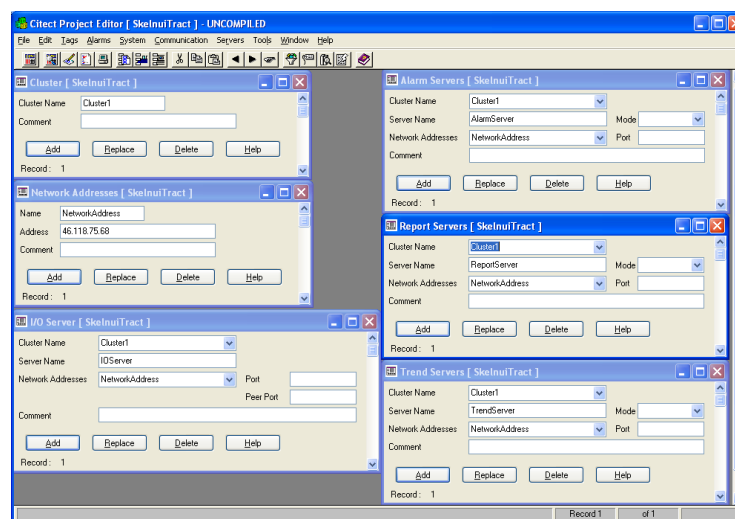


Рисунок 4.2 – Основні параметри конфігурації функціональних модулів програмного середовища Vijeo Citect

У межах цієї кваліфікаційної роботи задіяно 165 змінних технологічного процесу, з яких 96 є дискретними, а 69 – аналоговими. У середовищі SCADA всі змінні представлені у вигляді тегів, для кожного з яких обов'язково задається

набір основних характеристик. До них належить унікальна назва тегу, що відповідає змінній технологічного процесу та вводиться без використання пробілів.

Також визначається назва кластера, у даному проєкті застосовується один кластер з ідентифікатором «Cluster1», який попередньо налаштований на сервері. Обов'язковим параметром є назва пристрою вводу-виводу, яким у роботі виступає один контролер, заданий у серверних параметрах під назвою «Premium3». Адреса змінної формується шляхом поєднання імені пристрою вводу-виводу та конкретної адреси змінної в межах цього пристрою. Окрім цього, для кожного тегу визначається його тип: дискретний DIGITAL або аналоговий REAL, що відповідає дійсному типу даних, з яким оперує контролер.

Дискретні змінні мають спрощену структуру опису, оскільки для них не потрібно задавати додаткові масштабні параметри, характерні для аналогових тегів. Єдиним супровідним елементом є одиниці виміру, які в програмному середовищі задаються у відсотках.

За потреби кожен тег може бути доповнений коментарем, що вводиться довільною мовою та використовується для пояснення або зручнішого сприйняття призначення відповідної змінної в проєкті.

4.2.3 Конфігурування OPS – серверу

Для впровадження проєкту системи візуалізації процесів керування ПТС ДФ було використано програмне забезпечення Vijeo Citect, у якому обмін даними між клієнтськими застосунками та ПЛК у реальному часі забезпечується за допомогою технології OPC (OLE for Process Control). Дана технологія широко застосовується як універсальний програмний інтерфейс для підключення драйверів контролерів і периферійного обладнання. Зазвичай разом із контролером постачається спеціалізоване програмне забезпечення – OPC-сервер, що надає доступ до змінних відповідного типу ПЛК. Таким чином, OPC-сервер, з одного боку, забезпечує взаємодію з контролерами через конкретні промислові

протоколи, а з іншого – реалізує стандартний OPC-інтерфейс для зв'язку із SCADA-системою, у якій вона функціонує як OPC-клієнт.

SCADA-платформа Vijeo Citect містить вбудований OPC Factory Server (OFS), який забезпечує доступ прикладних клієнтських програм, таких як диспетчерські системи, бази даних та електронні таблиці, до внутрішніх змінних ПЛК, включаючи біти, байти, слова та сигнали вводу-виводу. У склад OFS входять такі основні компоненти: засіб налаштування OPC-сервера OFS Configuration Tool; серверна прикладна програма OPC, що обробляє запити клієнтів і передає їх до ПЛК (OFS Server); низькорівневі драйвери для обміну даними з контролерами серії TSX Premium; OPC-клієнт для перевірки та контролю з'єднання між компонентами системи (OFS Testing Client); програмний емулятор для тестування роботи одного або кількох клієнтів без фізичного підключення до ПЛК; а також електронні матеріали з інструкціями з налаштування.

Основними параметрами, які задаються під час конфігурування пристрою введення-виведення в OFS Configuration Tool, є: поле Symbol table file, де зазначається файл експорту з розширенням *.XVM, сформований у середовищі Unity Pro відповідно до програми керування ПЛК; а також поле Device address, у якому визначається використовуваний протокол обміну та мережева адреса модуля ПЛК.

4.2.4 Розробка графічних сторінок системи візуалізації технологічного процесу транспортування скельних порід

Головна екранна форма системи візуалізації технологічного процесу транспортування скельних порід у межах скельного тракту ДФ призначена для наочного відображення перебігу виробничого процесу, поточного стану основного технологічного обладнання, ключових параметрів роботи та діагностичних і аварійних повідомлень.

Графічні сторінки (екранні форми) розроблялися із застосуванням SCADA-системи Vijeo Citect за допомогою вбудованого графічного редактора

Citect Graphics Builder. Кожна екранна форма містить статичні та динамічні елементи. До статичних компонентів належать написи та графічні зображення, що не змінюються під дією контролера. Динамічні елементи пов'язані з програмованим логічним контролером і змінюють свій стан відповідно до значень тегів, тобто змінних, що зберігаються в пам'яті ПЛК.

Візуалізація параметрів реалізується у вигляді буквено-цифрових індикаторів, графіків, трендів і гістограм. До динамічних компонентів також належать поля введення, через які оператор з робочого місця може передавати задані значення безпосередньо в пам'ять ПЛК. Обмін інформацією та взаємодія автоматизованого робочого місця диспетчера з системою візуалізації й контролером здійснюються за допомогою механізму тегів.

Під час створення мнемосхеми поточно-транспортної системи скельного тракту у середовищі Citect Graphics Builder SCADA-системи Vijeo Citect були розміщені відповідні графічні примітиви згідно з послідовністю апаратів на технологічній схемі. Для індикації стану приводів дробарки, конвеєрів і живильників використано динамічні елементи типу «Symbol Set», які відображають вимкнений стан червоним кольором, а робочий – зеленим. Коректна індикація забезпечується шляхом зв'язування набору символів із тегом, що відповідає дискретній змінній стану механізму в пам'яті ПЛК.

Аналогічні динамічні елементи застосовано для сигналізації забиття тічок: у нормальному режимі вони мають сірий колір, а при виникненні аварійної ситуації змінюються на червоний та супроводжуються відповідним позначенням.

Для відображення аналогових технологічних параметрів процесу транспортування скельних порід у межах поточно-транспортної системи доцільно використовувати компоненти типу «Number» з палітри Citect Graphics Builder. У полі Numeric Expression задається тег, пов'язаний з аналоговим входом ПЛК, на який надходить сигнал відповідного параметра, зокрема швидкості руху механізмів, частоти перетворювача, споживаної потужності або продуктивності лінії.

На головному екрані для конусної дробарки ККД-1500/180 ГРЩ відображаються піктограма агрегату, дискретний стан привода (увімкнений/вимкнений), індикатор контролю забиття тічки, а також аналогові параметри: рівень матеріалу в дробильній камері, потужність споживання в поточний момент, внутрішня й зовнішня температура привода.

З метою підвищення наочності рівень заповнення камери додатково подано у вигляді графічного прямокутника типу Rectangle, створеного в Citect Graphic Builder. Заповнення елемента змінює колір відповідно до значення пов'язаного аналогового тегу. Для цього у властивостях об'єкта на вкладці Fill задається ім'я тегу «Prem_3dr_level», визначається робочий діапазон у полі Specify Range та обирається напрямок заповнення параметром Fill Direction.

Прямокутна індикація «A/P» показує активний режим керування обладнанням: підсвічене зеленим «P» відповідає місцевому ручному керуванню, тоді як зелений символ «A» означає автоматичний режим. Аналогічна індикація використовується і для інших механізмів поточно-транспортної системи скельного тракту.

Для живильників ПП1–ПП4 на основному екрані виводиться дискретний стан електропривода та сигнал діагностики можливого забиття тічки.

Магістральні конвеєри СК-1 і СК-2 представлені піктограмами з відображенням стану привода, а також набором аналогових показників: миттєва потужність, швидкість руху стрічки, частота обертання валу двигуна, вихідна частота перетворювача, струм привода та поточна продуктивність. Стан увімкнення механізмів візуалізується за допомогою динамічних елементів типу Symbol Set, що змінюють колір з червоного на зелений залежно від режиму роботи. Для конвеєра СК-2 додатково передбачено індикатор контролю забиття тічки.

Для реверсивно-котючого конвеєра СК-3, окрім стандартних параметрів, відображається напрямок транспортування матеріалу у вигляді стрілок, які при роботі механізму позначають активний напрямок чорним кольором.

Під піктограмою конвеєра просипу СК-4 виводяться значення поточної потужності, швидкості руху стрічки та фактичної продуктивності, а також дискретний сигнал стану привода.

Загальний вигляд екрана візуалізації процесу транспортування скельних порід у виробничих умовах ДФ подано на рис.4.3.

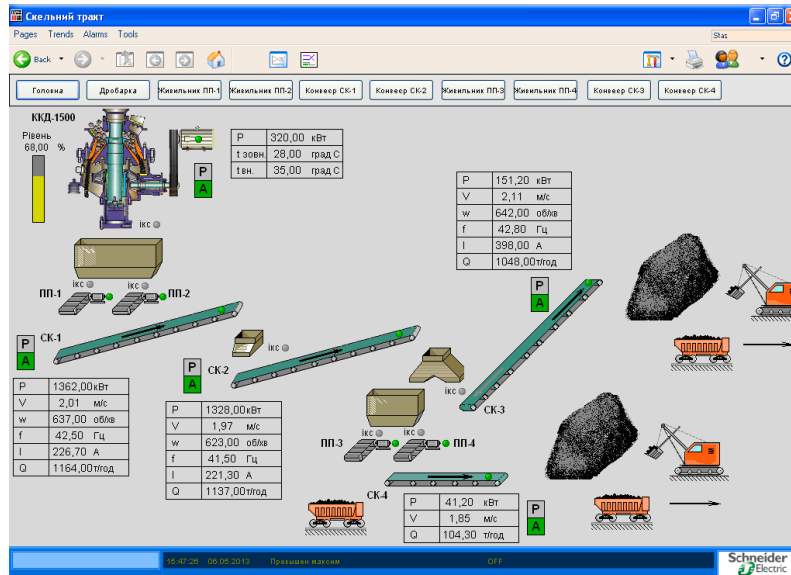


Рисунок 4.3 – Головна екранна форма системи моніторингу й візуалізації технологічного процесу транспортування скельної гірської маси

У межах роботи також спроектовано графічні інтерфейси для візуалізації параметрів роботи основних технологічних вузлів скельного тракту.

Зокрема, графічна сторінка «Дробарка» (рис. 4.4) призначена для відображення режимів функціонування конусної дробарки ККД-1500/180 ГРЦ, стану міжблокувальних зв'язків, сигналів аналогових вимірювальних каналів і перегляду відповідних трендів. На цій сторінці виводяться такі аналогові параметри: споживання електричної енергії, поточна потужність електродвигуна дробарки, рівень рудної маси в робочій камері, температура привода (внутрішня та зовнішня), а також тиск мастильного матеріалу.

На сторінці інтерфейсу відображається поточний стан ряду дискретних сигналів, зокрема: готовність дробарки до пуску; справність керуючої електричної схеми («схема зібрана»); контроль засмічення тічок бункера та дробарки; діагностика функціонування системи обдуву електродвигунів; стан

суміжних технологічних агрегатів у ланцюгу («робота живильників ПП1, ПП2»); наявність аварійного режиму ККД.

До групи аварійно-діагностичних сигналів ККД, що виводяться на графічну сторінку, належать: індикація зниженого рівня мастила; сигнал про недостатній тиск у системі змащення; контроль роботи маслостанції; попередження про перевищення допустимої температури підшипників; сигнал перевантаження приводних електродвигунів дробарки.

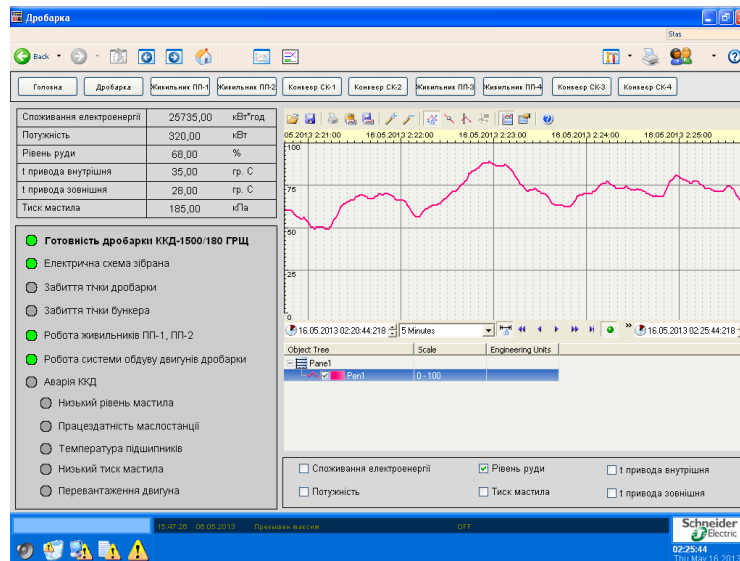


Рисунок 4.4 – Сторінка «Дробарка» у складі системи моніторингу та візуалізації

Діагностичні повідомлення подаються у вигляді кругових індикаторів: у штатному режимі вони мають сіре забарвлення, а при виникненні аварії змінюють колір на червоний. Біля кожного індикатора розміщується текстове пояснення, яке дозволяє швидко визначити технічний стан обладнання та ймовірну причину порушення роботи.

Графічна сторінка «Конвеєр СК-1» призначена для відображення режимів роботи магістрального конвеєра СК-1, контролю блокувальних зв'язків, зчитування даних з аналогових датчиків і перегляду відповідних графічних залежностей. На ній виводяться такі аналогові параметри: споживана електрична енергія, миттєве значення потужності електродвигуна, частота обертання приводу, вихідна частота живлення від перетворювача частоти, а також струм приводного двигуна.

Графічні сторінки магістрального конвеєра СК-2, реверсивно-котючого конвеєра СК-3 та конвеєра просипу СК-4 побудовані за аналогічним принципом з урахуванням конструктивних і технологічних особливостей кожного з механізмів.

Графічна сторінка «Живильник ПП-1» призначена для відображення робочих параметрів пластинчастого живильника ПП-1, стану блокувальних логічних зв'язків, показів аналогових вимірювальних датчиків і надає можливість перегляду відповідних часових графіків.

Подібну структуру інтерфейсу, з урахуванням індивідуальних конструктивних і технологічних особливостей кожного агрегата, мають графічні сторінки живильників ПП-2 – ПП-4.

На кожній сторінці механізму відображаються тренди зміни основних технологічних параметрів у часі. За стандартними налаштуваннями на екрані показуються графіки тривалістю 5 хвилин із кроком дискретизації 1 с. Оператор за допомогою відповідних перемикачів може самостійно вибрати параметри, які необхідно відобразити у вигляді трендів.

Візуалізація поточного та попереднього стану процесу з використанням часових графіків значно спрощує аналіз роботи об'єкта керування. Тренди дають змогу наочно простежувати динаміку змін значень технологічних змінних або самого процесу. Оскільки параметри змінюються в часі, графік автоматично зміщується, забезпечуючи постійне відображення актуальних даних.

Функціональні можливості SCADA-системи Vijeo Citect дозволяють виконувати прокручування архівних даних у зворотному напрямку для перегляду попередніх значень змінних і параметрів процесу. При цьому архівування даних здійснюється безперервно, незалежно від активності відображення трендів. Система також підтримує вільне перемикання між екранними формами без втрати даних та забезпечує побудову графіків як для окремих змінних, так і для обчислюваних виразів, заданих мовою CiCode.

Аналізатор процесів оснащений наочними засобами для дослідження та зіставлення трендів у реальному часі або з архіву разом із даними сигналів

тривог, що значно спрощує їх сприйняття порівняно зі стандартними шаблонами трендів та аварійних повідомлень. Компонент може інтегруватися у будь-яку графічну сторінку системи візуалізації, при цьому в базовому варіанті його використання не потребує попереднього налаштування.

Інструмент забезпечує одночасне відображення даних серверів трендів і тривог в межах одного вікна. Оскільки Аналізатор процесів працює з уже наявними серверами, додаткове конфігурування не вимагається – достатньо лише сформулювати відповідні теги. Частина параметрів цього засобу може змінюватися як на етапі проектування, так і безпосередньо під час функціонування системи візуалізації.

4.2.5 Розробка системи діагностичних повідомлень та тривог для проекту візуалізації технологічного процесу транспортування скельних порід

Забезпечення надійного захисту технологічного обладнання є однією з ключових функцій системи Vijeo Citect. Діагностичні повідомлення та аварійні сигнали дозволяють здійснювати безперервний контроль стану устаткування й своєчасно виконувати необхідні дії у разі виникнення збоїв або несправностей. У середовищі Vijeo Citect реалізовано підтримку двох основних категорій тривог: апаратних, що формуються обладнанням, та програмних, які задаються користувачем під час конфігурування.

Система Vijeo Citect у постійному режимі виконує діагностичні процедури, спрямовані на перевірку працездатності всіх периферійних пристроїв, зокрема модулів введення та виведення. Інформація про виявлені помилки автоматично передається оперативному персоналу у вигляді відповідних повідомлень. Апаратні тривожні сигнали повністю інтегровані в структуру Vijeo Citect, що усуває необхідність додаткового налаштування та підвищує загальну надійність системи керування.

4.2.6 Реалізація політики безпеки для проекту візуалізації технологічного процесу транспортування скельних порід

Оскільки система візуалізації технологічного процесу транспортування скельних порід використовується різними категоріями працівників дробильної фабрики (диспетчерами, енергетиками, персоналом АСК ТП), виникає потреба у захисті елементів керування від несанкціонованого втручання. Для цього необхідно впровадити політику інформаційної безпеки з розмежуванням прав доступу відповідно до функціональних обов'язків кожної групи спеціалістів.

SCADA-система Vijeo Citect надає широкі можливості для організації безпечного керування виробничими процесами. Тому під час реалізації механізмів захисту слід заздалегідь визначити перелік дозволених дій для кожного користувача, рівень доступу до окремих ділянок системи, а також коло команд, виконання яких допускається без обмежень.

Як правило, оператор має можливість вводити керуючі команди лише за необхідності. Водночас існують операції, доступ до яких для окремих користувачів повинен бути обмежений. Реалізація такого захисту забезпечується за рахунок використання облікових записів і системи авторизації користувачів.

4.2.7 Розробка системи підготовки звітів проекту візуалізації технологічного процесу транспортування скельних порід

Користувачі системи візуалізації процесу транспортування скельних порід повинні мати змогу автоматизовано формувати звітну документацію як щодо загального стану виробництва, так і щодо появи нештатних або аварійних режимів роботи обладнання. У середовищі Vijeo Citect звіти створюються на основі запитів, у задані часові моменти або під час настання визначених подій. При цьому звітні форми можуть містити вирази мови Cicode, які виконуються безпосередньо в момент генерації звіту.

Звітні документи, подібно до подій, формуються з певною періодичністю або за встановленими умовами, а також можуть поєднувати обидва підходи. Додатково передбачена можливість створення звіту в будь-який момент часу

шляхом виклику функції Report() мови Cicode. Структура та вигляд звіту задаються у файлі його формату, після чого сформований документ виводиться на визначений пристрій. Таким чином, звіти слугують інструментом архівування даних про перебіг технологічних процесів і події, а також засобом оперативного інформування персоналу. Робота зі звітами передбачає їх попереднє налаштування, формування та подальший перегляд отриманих результатів.

ВИСНОВОК

Кваліфікаційна робота спрямована на модернізацію АСК ПТС скельного тракту дробильної фабрики шляхом створення та впровадження системи візуалізації технологічних процесів. Основною метою дослідження є покращення контролю й управління виробничими операціями, підвищення продуктивності та енергоефективності, забезпечення роботи обладнання в раціональних режимах, а також створення умов для аналізу діяльності операторів і технічного стану устаткування, що сприяє покращенню умов праці персоналу та переходу до сучасного рівня управління технологічними процесами.

У роботі виконано детальний аналіз процесу дозування, наявного технологічного обладнання та застосовуваних засобів автоматизації, за результатами якого сформовано технічне завдання на розробку автоматизованої системи керування технологічним процесом дозування. Визначено вимоги до математичного забезпечення, апаратної частини системи та програмних засобів керування і візуалізації.

Досліджено специфіку керування обладнанням поточно-транспортних систем і на цій основі сформульовано ключові вимоги до систем керування ПТС з урахуванням безперервності процесу та змінних умов експлуатації.

Розглянуто математичні моделі процесів управління ПТС. Для скоординованого керування багатодвигунним електроприводом магістрального конвеєра СК-1 запропоновано удосконалений алгоритм формування сигналів завдання, який враховує стохастичний характер вантажопотоку, забезпечує вирівнювання навантаження між приводними двигунами до 90% та запобігає проковзуванню конвеєрної стрічки при зміні режимів роботи.

Обґрунтовано архітектуру комплексу технічних засобів АСК, яка передбачає трирівневу побудову: підсистему оперативно-диспетчерського керування, рівень керування технологічними об'єктами та польовий рівень обладнання. Доведено, що реалізація нижнього, контролерного рівня АСК ТП скельного тракту у вигляді розподіленої структури є доцільною, оскільки

забезпечує компактність апаратури, максимальне наближення засобів керування до об'єкта, зменшення витрат кабельної продукції та металоконструкцій для кабельних трас, а також можливість об'єднання окремих ділянок у єдину узгоджену систему. Відповідно до обраної концепції підібрано необхідні технічні засоби для реалізації кожного рівня системи.

Як програмну платформу автоматизованої системи керування технологічним процесом передбачено використання пакета Unity Pro XL для програмування ПЛК, OPC-сервера OFS компанії Schneider Electric для збору та передачі технологічних даних у базу, а також програмного комплексу Vijecto Citect для візуалізації, моніторингу та оперативного керування процесом.

З метою підвищення ефективності інформаційного забезпечення технологічного персоналу скельного тракту дробильної фабрики в кваліфікаційній роботі спроектовано систему контролю та візуалізації, яка відображає поточний стан обладнання та основні параметри процесу транспортування сланцевої сировини. Програмний комплекс АСК ПТС скельного тракту дробильної фабрики реалізовано у вигляді керуючих програм контролерів та SCADA-системи, встановленої на автоматизованому робочому місці диспетчера. Система забезпечує формування звітної документації, відображення трендів параметрів та сигналізацію аварійних і позаштатних ситуацій, що можуть виникати під час експлуатації.

Застосування запропонованої системи візуалізації технологічного процесу дозволяє надавати персоналу повну та актуальну оперативну інформацію, сприяє прийняттю обґрунтованих керуючих рішень і підвищує рівень захисту технологічного обладнання.

Таким чином, розроблені проєктні рішення з автоматизації керування ПТС скельного тракту, реалізовані у вигляді комплексу технічних і програмних засобів та системи візуалізації технологічного процесу, відповідають сучасним вимогам до систем автоматизації й можуть бути рекомендовані для впровадження на дробильних фабриках гірничо-збагачувальних комбінатів.

У розділі з охорони праці виконано розрахунок захисного заземлення для

промислового обладнання ПТС скельного тракту, а також сформульовано експлуатаційні вимоги, що відповідають чинному законодавству України у сфері охорони праці.