

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

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Аммосова Валерія Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Автоматизація гірничого виробництва. Удосконалення системи захисту
приводів екскаваторів типу ЕКГ шляхом впровадження мікропроцесорного
модуля в умовах АТ «Південний ГЗК»

(повна назва теми)

за матеріалами АТ «Південний ГЗК»

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник д.філ.з фізики, доцент

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Соломенко А.Г.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від _____

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н.

Наук. ступень, вчене звання

Є.О. Модло

Ініціали, прізвище

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

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« ____ » _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Аммосова Валерія Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної кваліфікаційної роботи

Автоматизація гірничого виробництва. Удосконалення системи захисту приводів екскаваторів типу ЕКГ шляхом впровадження мікропроцесорного модуля в умовах АТ «Південний ГЗК»

керівник випускної роботи Соломенко Анастасія Геннадівна, д.філ.з фізики, доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «06» квітня 2026 року № 239-ст

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи 02.06.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

Об'єкт - кар'єрні однокоровні екскаватори серії ЕКГ-10 в умовах АТ «Південний ГЗК»; живлення екскаватора - 6 кВ змінного струму через ЯКНО-6; система приводів - Г-Д (три генератори: підйому, повороту і напору плюс збудник); номінальний струм двигуна підйому - 800 А; струм упору - до 2,1·Ін; максимальна швидкість наростання струму - 4000 А/с; відсутні захисти від: обриву каната, втрати механічного зв'язку «синхронний двигун-генератор», КЗ у колах постійного струму, підвищеного іскріння на колекторах; порогове значення струму КЗ - 2,7·Ін за 10 мс; спектральний діапазон виявлення іскріння - 440-590 нм; вимоги - виявлення аварій у реальному часі, передача даних диспетчеру по GSM, відповідність нормам охорони праці.

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

4.1 Аналітична частина: Характеристика електроустаткування екскаватора ЕКГ-10 та схема Г-Д. Аналіз існуючих засобів захисту силових кіл

(швидкодіючі вимикачі). Аналіз електроприводів сучасних екскаваторів і НКУЕ-10МК. Засоби автоматичного виявлення іскроутворення на колекторах. Постановка задачі.

4.2 Основна частина: Алгоритми виявлення аварійних подій (обрив каната, втрата механічного зв'язку, КЗ, іскріння, обрив поля збудження). Розробка структури пристрою захисту. Розробка датчика іскри на фотодіодах ФД288Д. Розробка електронного автоматичного вимикача на GTO-тиристорі. Блок-схема алгоритму роботи пристрою. Вибір елементної бази (WP-8441-EN, I-8017H, I-8042, HMI-430, GSM ES75). Обґрунтування похибок і вибір частоти дискретизації 250 Гц. Охорона праці: аналіз шкідливих чинників, заходи захисту, розрахунок захисного заземлення мережі 6 кВ

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

ВРБ.151.239-ст.01.Е0.1 - Загальний вид і схема електропостачання екскаватора ЕКГ-10; ВРБ.151.239-ст.01.Е0.2 - Формули алгоритмів; ВРБ.151.239-ст.01.Е1.1 - Структурна схема пристрою захисту; ВРБ.151.239-ст.01.Е1.2 - Структурна схема датчика іскри; ВРБ.151.239-ст.01.Е1.3 - Структурна схема основних вузлів електронного вимикача; ВРБ.151.239-ст.01.Е0 - Блок-схема алгоритму роботи пристрою.

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Соломенко А.Г.	10.04.2026	10.04.2026
Основна частина	Соломенко А.Г.	10.04.2026	10.04.2026

7. Дата видачі завдання 10.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент _____
(підпис)

Аммосов В.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Соломенко А.Г.
(прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення			Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.
1	A3	ВРБ.151.239-см.01.Е0.1			Загальний вид і схема	1		
2					електропостачання			
3					екскаватора ЕКГ-10			
4								
5	A3	ВРБ.151.239-см.01.Е0.2			Формули алгоритмів	1		
6								
7	A3	ВРБ.151.239-см.01.Е1.1			Структурна схема	1		
8					пристрою захисту			
9								
10	A3	ВРБ.151.239-см.01.Е1.2			Структурна схема	1		
11					датчика іскри			
12								
13	A3	ВРБ.151.239-см.01.Е1.3			Структурна схема	1		
14					основних вузлів			
15					електронного вимикача			
16								
17	A3	ВРБ.151.239-см.01.Е0			Блок-схема алгоритму	1		
18					роботи пристрою			
19								
20	A4	ВРБ.151.239-см.01.ПЗ			Пояснювальна записка	58		
					ВРБ.151.239-см.01.ВР			
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розроб.		Аммосов В.Ю.			Автоматизація гірничого виробництва. Удосконалення системи захисту приводів екскаваторів типу ЕКГ шляхом впровадження мікропроцесорного модуля в умовах АТ «Південний ГЗК» Відомість роботи	Літера	Аркуш	Аркушів
Пров.		Соломенко А.Г.					4	1
						ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА гр. АВ-22		
Н.контр.		Соломенко А.Г.						
Затв.		Модло Є.О.						

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної роботи: 58 с., 12 рис., 8 табл., 13 джерел.

Об'єкт роботи: кар'єрні одноковшеві екскаватори серії ЕКГ-10 в умовах АТ «Південний ГЗК».

Мета роботи: удосконалення системи захисту електроприводів екскаваторів серії ЕКГ шляхом розроблення мікропроцесорного модуля автоматичного виявлення та ліквідації аварійних подій у силових колах та механічних вузлах машин.

Методи досліджень: аналіз конструктивних і схемотехнічних рішень існуючих систем захисту; математичне обґрунтування алгоритмів ідентифікації аварійних режимів; порівняльний аналіз силових напівпровідникових приладів; розрахунково-аналітичний метод визначення похибок вимірювального тракту.

У роботі встановлено, що системи керування діючого парку екскаваторів серії ЕКГ не забезпечують автоматичного захисту при чотирьох категоріях аварійних подій: обриві каната механізму відкривання днища ковша, втраті механічного зв'язку в лінії «синхронний двигун – генератор», короткому замиканні в силових колах постійного струму та підвищеному іскроутворенні на колекторах машин. Для усунення цих недоліків розроблено структуру мікропроцесорного пристрою захисту, що включає фотодіодні датчики іскри, електронні автоматичні вимикачі на основі GTO-тиристорів, багаторівневу систему збору і оброблення даних та бездротовий GSM-канал зв'язку з диспетчерським пунктом кар'єру.

Виконано аналіз похибок вимірювального тракту, за результатами якого обґрунтовано вибір частоти дискретизації сигналів 250 Гц, що забезпечує сумарну похибку вимірювання струмів і напруг не більше 3 %.

Ключові слова: алгоритм захисту, датчик іскроутворення, електронний автоматичний вимикач, екскаватор ЕКГ, іскроутворення, коротке замикання, мікропроцесорний контролер, система Г-Д, тиристор GTO, фотодіод.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Коротка характеристика електроустаткування	10
1.2 Існуючі засоби захисту силових кіл.....	15
1.3 Аналіз електроприводів сучасних екскаваторів.....	17
1.4 Засоби автоматичного виявлення іскроутворення на колекторах.....	19
1.5 Постановка завдання випускної роботи.....	22
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	24
2.1 Алгоритми виявлення аварійних подій.....	24
2.1.1 Алгоритм виявлення обриву каната	24
2.1.2 Алгоритм виявлення втрати механічного зв'язку	25
2.1.3 Алгоритм виявлення короткого замикання	26
2.1.4 Алгоритм виявлення іскроутворення.....	26
2.1.5 Алгоритм виявлення обриву поля збудження двигуна	27
2.2 Розробка структури пристрою	27
2.3 Розробка датчика іскри.....	30
2.4 Розробка електронного автоматичного вимикача	35
2.5 Блок-схема алгоритму роботи пристрою.....	37
2.6 Вибір основної елементної бази	39
2.6.1 Замикаючий тиристор.....	39
2.6.2 Блок гальванічної розв'язки	40
2.6.3 Контролер нижнього рівня.....	40
2.6.4 Пульти машиніста (HMI).....	41
2.6.5 GSM-модем	42

2.6.6 Контролер верхнього рівня керування.....	43
2.6.7 Плата АЦП	44
2.6.8 Плата дискретного введення-виведення.....	45
2.7 Обґрунтування похибок і вибір частоти дискретизації сигналів	45
2.8 Технічні дані пристрою	47
2.9 Охорона праці	48
2.9.1 Вибір і характеристика будівельного майданчика кар'єру Південного ГЗК.....	48
2.9.2 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів у кар'єрі АТ «Південний ГЗК»	48
2.9.3 Заходи щодо зниження шкідливих та небезпечних чинників у кар'єрі АТ «Південний ГЗК».....	50
2.9.4 Розрахункова частина. Захисне заземлення	51
2.9.5 Вибір засобів індивідуального захисту.....	53
2.9.6 Вибір санітарно-побутових приміщень і пристроїв	53
2.9.7 Пожежна безпека.....	53
2.9.8 Екологія і охорона навколишнього середовища.....	54
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	58

ВСТУП

Відкрита розробка залізорудних родовищ в умовах АТ «Південний ГЗК» невіддільно пов'язана з масовим застосуванням потужних кар'єрних екскаваторів серії ЕКГ. Ці машини є головною виймально-навантажувальною ланкою технологічного ланцюга підприємства, а їхня безвідмовна робота безпосередньо визначає виконання планових показників видобутку. Електрична схема зазначених машин побудована на базі класичної системи «генератор–двигун» (Г-Д): близько 85 % парку досі використовує саме цю архітектуру, попри те що сучасні тиристорні (ТП-Д) та тиристорно-частотні (ТПЧ-Д) аналоги забезпечують на 7 % менше питомих втрат електроенергії і нижчі поточні витрати на обслуговування [1]. Причина збереження застарілої схеми суто економічна: повна модернізація кожної машини потребує капіталовкладень, несумірних з вигодою від підвищення ефективності, тому діючий парк ЕКГ залишатиметься в експлуатації щонайменше ще впродовж десятиліття.

Системний аналіз відмов, проведений у рамках цього проекту, виявив принципову прогалину в існуючих системах керування: жодна з них не забезпечує автоматичного виявлення та блокування чотирьох специфічних аварійних подій, а саме – обриву каната механізму відкривання днища ківша, розриву механічного зв'язку між синхронним двигуном і генераторами, короткого замикання у силових колах постійного струму, а також підвищеного іскроутворення й кругового вогню на колекторах машин постійного струму. Хоча частота реалізації кожної з цих подій відносно невисока – статистично не частіше одного разу на 2–3 роки на кілька десятків машин у парку, – наслідки виявляються катастрофічними: займання ізоляції, часткове вигорання обмоток, масштабне пошкодження кабельно-провідникової продукції [2]. Відновлювальний ремонт після такої аварії потребує від одного до двох місяців, а матеріальні збитки – лише від заміни обладнання та проведення монтажних робіт – сягають кількох сотень тисяч гривень. Якщо до цієї суми додати

вартість простою видобувного обладнання, загальні економічні втрати підприємства стають ще більш відчутними.

Принципова причина відсутності зазначених захисних функцій полягає в тому, що системи керування ЕКГ розроблялися понад тридцять років тому, коли реалізація повноцінних електронних засобів захисту постійного струму була технічно неможливою через відсутність відповідної елементної бази. Розробники вимушено поклали функцію обмеження аварійних режимів виключно на реалізацію в системі керування так званої «екскаваторної» характеристики, яка обмежує струм при перевантаженні, але не є засобом захисту від коротких замикань та інших специфічних аварій. Проведений аналіз технічної літератури і промислового досвіду засвідчив: готових рішень, здатних комплексно закрити всі чотири виявлені прогалини, на ринку не представлено [3].

Саме тому завданням цієї роботи є розроблення мікропроцесорного модуля захисту приводів екскаваторів серії ЕКГ, який у режимі реального часу виконує моніторинг струмів і напруг силових кіл, аналізує оптичні сигнали з зони щіткового апарата та реалізує алгоритми ідентифікації всіх чотирьох аварійних подій з наступним автоматичним відключенням пошкодженого ланцюга. Сукупність запропонованих технічних рішень дозволить суттєво підвищити надійність роботи екскаваторного парку АТ «Південний ГЗК» та скоротити економічні втрати від аварійних зупинок.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Коротка характеристика електроустаткування

Кар'єрні одноковшеві екскаватори серії ЕКГ є виймально-навантажувальними машинами циклічної дії, призначеними для механізованого вибухового і безвибухового виймання гірничої маси в умовах відкритих розробок та її завантаження у кузови автосамоскидів або вагони залізничного транспорту. Специфіка гірничих умов кар'єру Південного ГЗК накладає на ці машини виключно важкий режим роботи: безперервне стикання з твердою абразивною породою, значні динамічні навантаження в момент зарізу ківша та часті реверсивні пуски двигунів у режимі стопоріння. За сукупністю масо-габаритних і силових показників кар'єрні екскаватори принципово відрізняються від будівельних – їхня маса та встановлена потужність на порядок вищі, а умови роботи несумірно суворіші [4].

Живлення екскаваторів здійснюється від кар'єрної мережі трифазного змінного струму напругою 6 кВ. Застосування дизельних приводів у відкритих кар'єрах обмежено нормативними вимогами щодо газового складу атмосфери, тому електричний привод тут є безальтернативним вибором. Напруга подається до машини по гнучкому броньованому кабелі типу КГЕ або КШВГ(Е)(ХЛ) від розподільного пункту або пункту, що примикає до робочого горизонту. Кабельна мережа кар'єру живиться від стаціонарних підстанцій і може мати повітряне або кабельне виконання залежно від технологічної схеми розробки.

Схема електропостачання екскаватора ЕКГ-10, зображена на рис. 1.1, побудована за класичним принципом: вхідна напруга 6 кВ через кільцевий струмознімач (ХА1), розташований на поворотній платформі, подається на роз'єднувач (QS) екскаваторного комірки КРУЕ, а звідти – через силовий вимикач (QF) – на приводний синхронний або асинхронний двигун (М) перетворювального агрегату. На спільному валу з двигуном М розміщено чотири машини: генератор підйому (G1), генератор повороту-ходу (G2), генератор напору (G3) і збудник (G4). Паралельно силовий трансформатор

ТМЕ знижує напругу до 0,4 кВ для живлення допоміжних споживачів – вентиляторів, компресора, гідравлічного насоса, зварювального агрегату, освітлення та системи зв'язку, а також магнітних підсилювачів ПДД.

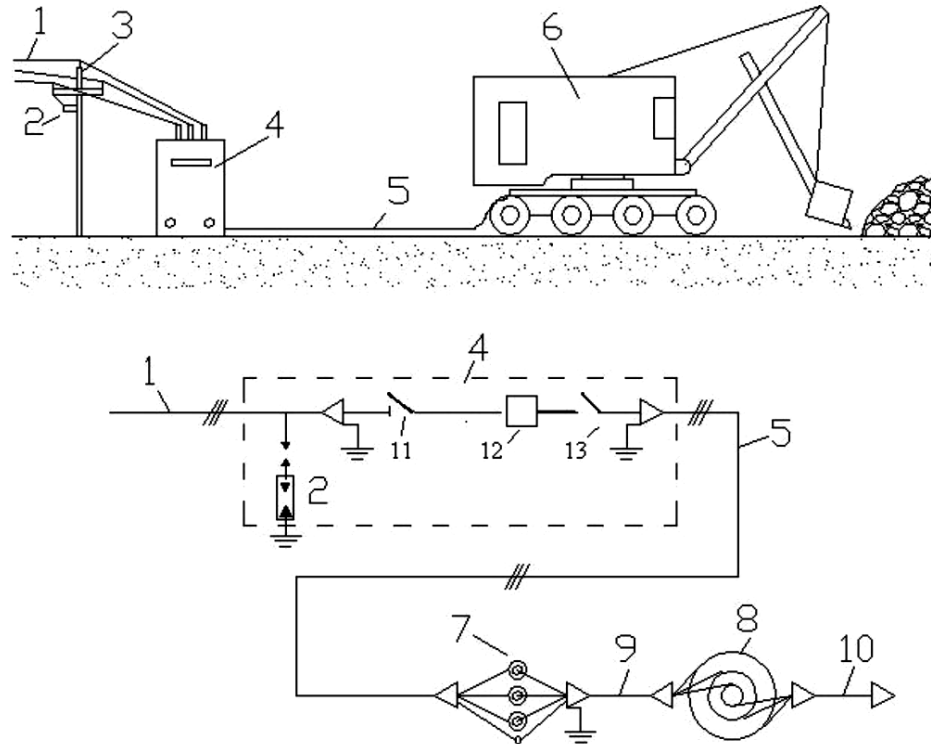


Рис. 1.1. Схема живлення кар'єрного екскаватора

(розроблено автором з використанням [2], [4])

1 - Повітряна лінія 6 кВ; 2 – Розрядники; 3 – Опора; 4 - Високовольтний перемикаючий пункт, 5- Високовольтний гнучкий кабель; 6 – Екскаватор;
7 - Опорні ізолятори вступної коробки; 8 - Високовольтний кільцевий струмоприймач; 9 і 10 - Перша й друга високовольтні кабельні перемички.

Головні робочі механізми машини – підйом, поворот, напір і хід – приводяться в рух двигунами постійного струму, що отримують живлення від відповідних генераторів. Таке архітектурне рішення забезпечує широкодіапазонне регулювання частоти обертання кожного механізму незалежно від решти, що є принциповою вимогою до виймально-навантажувального обладнання. Схему електропостачання головних приводів наведено на рис. 1.2 [4].

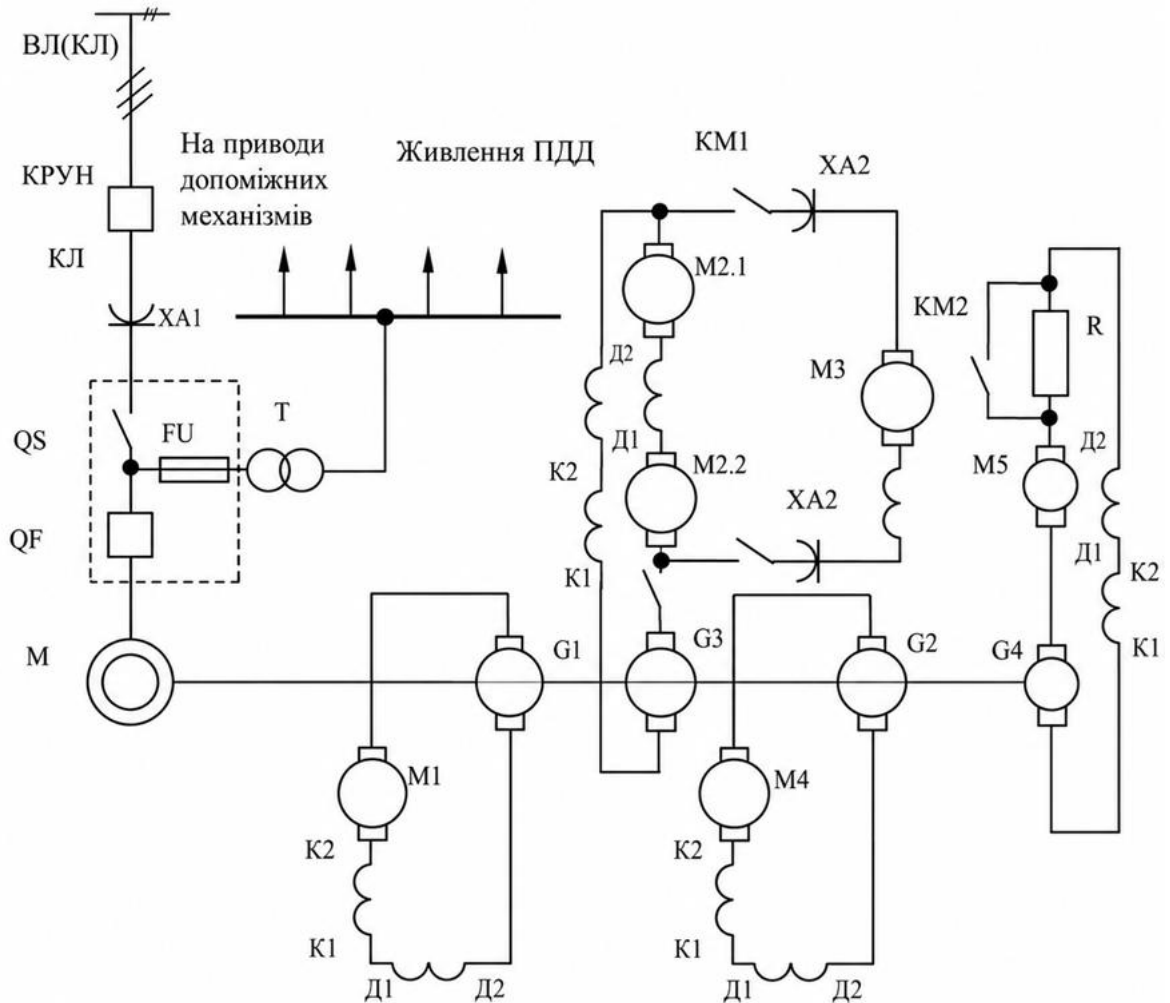


Рис. 1.2. Схема електропостачання екскаватора

(розроблено автором з використанням [2], [4])

Для керування двигунами головних приводів в екскаваторах серії ЕКГ застосовуються кілька схемотехнічних варіантів: керування від триобмоткових генераторів; від силових магнітних або електромашинних підсилювачів (схеми СМУ-Г-Д та ЕМУ-Г-Д); від силових магнітних підсилювачів у поєднанні з проміжними магнітними підсилювачами (схема СМУ-ПМУ-Г-Д); від статичних тиристорних перетворювачів у поєднанні з магнітними підсилювачами, вихід яких підключається до обмоток керування фазорегуляторів. Незалежно від схеми реалізації, всі головні приводи функціонують у системі Г-Д відповідно до так званої «екскаваторної» (упорної) характеристики, яка є залежністю частоти обертання двигуна від струму навантаження: при досягненні статичним

моментом гранично допустимого значення система різко знижує швидкість аж до практично повної зупинки механізму – стопорного режиму [4].

Головна функція системи керування полягає у синтезі оптимальної струмової діаграми електропривода, що визначає режими розгону, реверсування та гальмування двигуна у відповідності до регламентованих часових параметрів циклу. Для забезпечення стабільності перехідних процесів у системі реалізовані гнучкі негативні зворотні зв'язки по струму головного кола та по напрузі генераторів або магнітних підсилювачів. Ці так звані стабілізуючі зв'язки підтримують заданий темп зміни вихідної керованої величини, обмежують прискорення у перехідних режимах, запобігають перерегулюванню та забезпечують стійку роботу системи у широкому діапазоні навантажень [4].

Сучасна тенденція полягає у широкому застосуванні тиристорних перетворювачів для керування збудженням генераторів замість традиційних електромашинних і магнітних підсилювачів. Принципова перевага тиристорного управління – суттєве скорочення кількості інерційних ланок у замкненому контурі регулювання – підвищує загальний коефіцієнт підсилення системи і мінімізує статичну похибку. Якщо у схемах із застосуванням електромашинних або магнітних підсилювачів статичний коефіцієнт заповнення зовнішньої характеристики типово становить 0,80-0,85, то перехід на тиристорне збудження дозволяє підвищити його до 0,90-0,92, що безпосередньо позначається на якості регулювання та енергетичній ефективності привода [4].

Привод відкривання днища ковша (двигун М5) підключений до збудника G4 через баластний опір R постійно, завдяки чому на валу двигуна підтримується невеликий обертовий момент, що забезпечує постійний натяг каната механізму. При подачі команди на відкривання днища контактор КМ2 шунтує опір R , момент на валу зростає до величини, достатньої для спрацювання механізму відкривання, після чого ківш розвантажується. Саме ця схема обумовлює специфічний алгоритм діагностики обриву каната, що буде розглянутий у розділі 2.

Для визначення максимальних робочих струмів у силових колах у табл. 1.1 наведено основні електричні параметри двигунів головних приводів екскаватора ЕКГ-10 [4].

Таблиця 1.1

Основні технічні дані приводів екскаватора ЕКГ-10

Найменування привода	Од. вим.	Підйому	Напору	Повороту	Ходу
Тип двигуна	–	Д818	ДЕВ-812	ДЕ-812	ДПЕ-52
Потужність	кВт	270	120	120	54
Номінальний струм	А	800	360	360	150
Номінальна швидкість	об/хв	800	750	750	1200
Струм упору	А	1850	750	750	–
Паспортна ТВ	%	80	80	80	<45 хв
Сер. тривалість циклу	с	35	35	20	–
Масштаб шунтів	мВ/кА	75/2	75/1	75/1	75/1

Аналіз табл. 1.1 свідчить, що номінальні струми двигунів і їхні струми упору різняться приблизно у 2,5 рази. Ця обставина є принципово важливою для проєктування електронного автоматичного вимикача: уставка струму відключення повинна автоматично змінюватися залежно від того, який механізм задіяно в поточний момент часу, адже фіксоване граничне значення, прийнятне для двигуна підйому з номінальним струмом 800 А, буде грубо некоректним для двигуна ходу з номінальним значенням лише 150 А. Загальний вигляд та схему електропостачання екскаватора показано на рис. 1.3 [4].

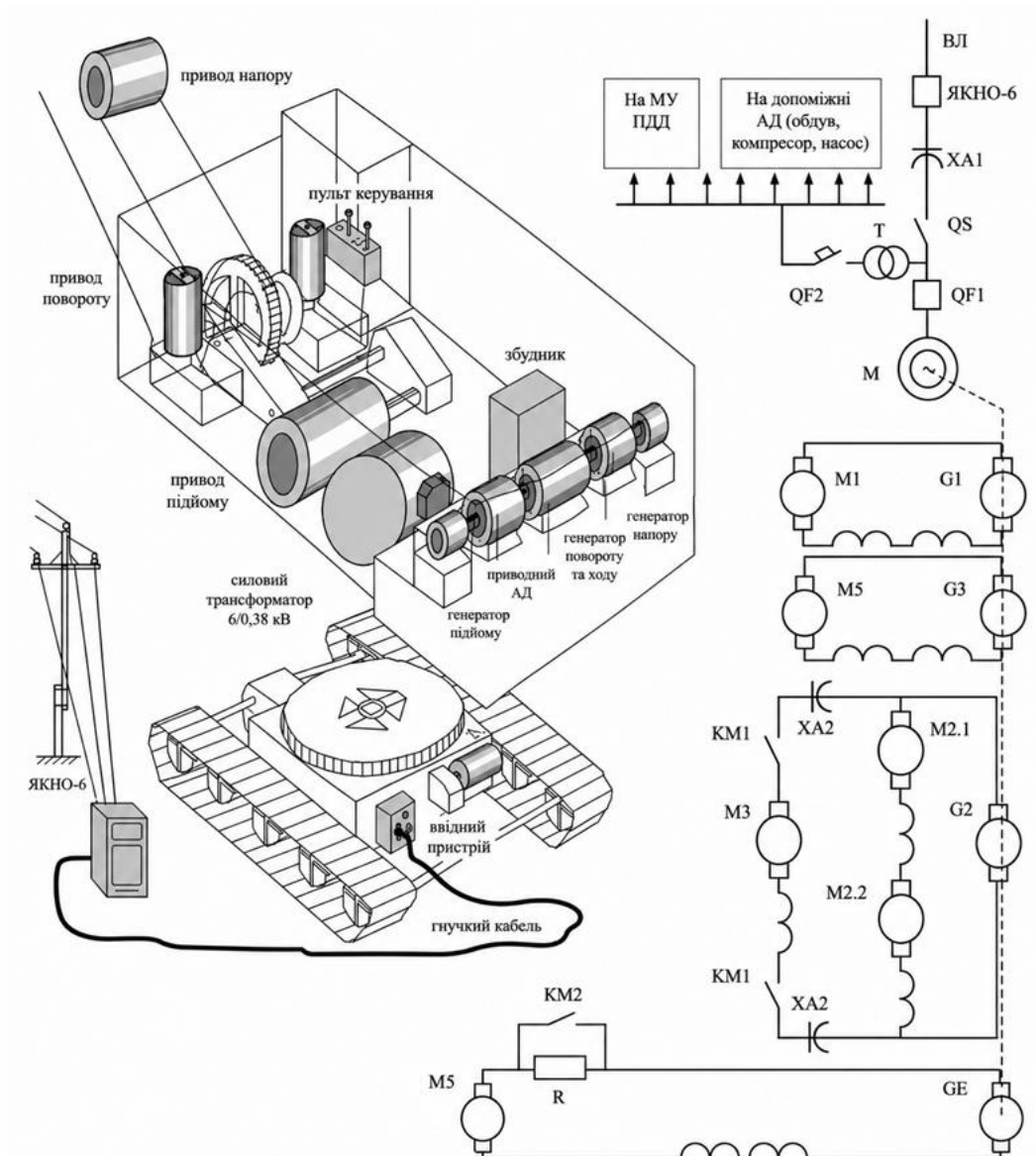


**Рис. 1.3. Загальний вигляд та схема електропостачання
екскаватора ЕКТ-10**

(розроблено автором з використанням [2], [4])

1.2 Існуючі засоби захисту силових кіл

Традиційним засобом захисту кіл постійного струму в системах Г-Д екскаваторів є швидкодіючі вимикачі (ШВ) серій АБ-2/4, ВАБ-28, ВАБ-43, ВАБ-49 та ВАБ-50. Ці апарати є одночасно комутаційними і захисними пристроями: вони забезпечують включення та відключення кіл під

навантаженням, а також автоматичне вимкнення при виникненні перевантажень і коротких замикань. Принципова особливість кіл постійного струму, яка ускладнює реалізацію надійного захисту, полягає у характері наростання аварійного струму: на відміну від мереж змінного струму, де синусоїдна форма кривої забезпечує природний перехід через нуль і самогасіння дуги у вимикачі, у колах постійного струму аварійний струм наростає до сталого значення за соті частки секунди без будь-яких природних пауз. У силових колах приводів з напругою 440-800 В і потужністю 200-5000 кВт значення струму короткого замикання здатне сягати 20-40 кА, що становить серйозну загрозу для ізоляції обмоток і цілісності кабельних з'єднань як через термічний нагрів, так і через електродинамічні зусилля [5].

За принципом спрацювання вимикаючого механізму ШВ поділяються на дві конструктивні групи. До першої відносяться апарати з пружинним відключенням, у яких роз'єднання контактів відбувається за рахунок зусиль потужних відключальних пружин. У другій групі – апарати з магнітно-пружинним відключенням, де разом із пружинами діють електромагнітні сили. За характером реагування на напрямок струму вимикачі додатково класифікуються на поляризовані – ті, що спрацьовують лише при певному напрямку струму через контакти, – та неполяризовані, що реагують виключно на перевищення амплітуди струму незалежно від його полярності. Для захисту кіл постійного струму приводів ЕКГ застосовуються переважно неполяризовані апарати з максимальним струмом відключення від 5 до 20 кА, оскільки реверсивний характер роботи двигунів не дозволяє прив'язати захист до конкретного напрямку струму [5].

Незважаючи на принципову придатність швидкодіючих вимикачів для вирішення поставленої задачі, їхнє застосування на кар'єрних екскаваторах наштовхується на принципову конструктивну перешкоду: ці апарати є складними електромеханічними пристроями, критично чутливими до вібрацій і ударних навантажень. Тяжкий динамічний режим роботи екскаватора – постійні коливання поворотної платформи, удари при зарізі ковша, вібрація від

роботи ходового механізму – несумісний з нормальним функціонуванням електромеханічних вимикачів, що призводить до хибних спрацювань або відмов у спрацюванні. Розробка спеціальних вібростійких модифікацій є технічно складним і економічно малодоцільним завданням.

Слід зазначити, що системи керування головними приводами ЕКГ проєктувалися понад тридцять років тому. У той час реалізація суто електронних автоматичних вимикачів постійного струму на базі напівпровідникових приладів вважалася практично нездійсненним завданням через відсутність на ринку силових напівпровідникових приладів з відповідними характеристиками за швидкодією та допустимим струмом. Тому розробники змушені були покласти функцію захисту силових кіл на систему керування, реалізувавши в ній упорну (екскаваторну) характеристику. Ця характеристика обмежує струм навантаження при перевантаженні механізму, однак, як підтверджує інженерна практика, не є повноцінним засобом захисту від раптових коротких замикань: у разі миттєвого КЗ система керування просто не встигає відреагувати за час, необхідний для обмеження струму до безпечного рівня, що й призводить до теплового пошкодження ізоляції машин і кабелів [5].

1.3 Аналіз електроприводів сучасних екскаваторів

Аналіз сучасних напрямків розвитку електроприводів кар'єрних екскаваторів свідчить про те, що провідні виробники обладнання роблять ставку на глибоку мікропроцесоризацію всіх підсистем керування. Показовим прикладом такого підходу є комплектний пристрій НКУЕ-10МК, призначений для керування збудженням двигунів і генераторів головних приводів одноковшових екскаваторів типів ЕКГ-8 і ЕКГ-10, що працюють у системі Г-Д. Цей комплект може встановлюватися як на новозбудовані машини, так і на машини, що проходять капітальний ремонт, що робить його привабливим

рішенням для підприємств, які прагнуть модернізувати наявний парк без повної заміни машин [3].

Концепція НКУЕ-10МК передбачає заміну схем збудження на основі магнітних підсилювачів або тиристорного керування на реверсивні транзисторні збудники з мікропроцесорним управлінням як для генераторів, так і для двигунів головних приводів. Одночасно реалізується переведення синхронного двигуна з прямого пуску на плавний безступінчастий розгін, що усуває негативний вплив на кар'єрну мережу від кидків пускового струму та збільшує ресурс перетворювального агрегату. Важливим елементом концепції є автоматичне регулювання струму збудження синхронного двигуна залежно від струму статора, тобто від поточного навантаження, що дозволяє стабілізувати $\cos \phi$ у широкому діапазоні і досягти реальної економії електроенергії [3].

З точки зору системної архітектури НКУЕ-10МК замінює релейно-контакторну логіку розподіленою мікропроцесорною системою збору даних і керування, що в разі скорочує кількість електромагнітних реле і переводить функції блокувань і захистів на програмний рівень. Командоконтролери кулачкового типу замінюються на компактні резистивні, що забезпечують плавне задання швидкості і потребують значно меншого технічного обслуговування. Встановлення виносної інформаційної панелі з вбудованим дисплеєм у кабіні машиніста надає оператору оперативний доступ до поточних параметрів роботи і журналу аварійних подій, що суттєво скорочує час діагностики несправностей. Застосування мережних технологій для внутрішнього обміну даними дозволяє вдвічі зменшити обсяг кабельних міжблочних з'єднань і спрощує компоновку шаф керування [3].

Разом з тим, навіть за умови встановлення НКУЕ-10МК, задача автоматичного захисту від коротких замикань у силових колах постійного струму, виявлення обриву каната та діагностики іскроутворення залишається поза функціональним обсягом цього комплекту. Таким чином, потреба у спеціалізованому пристрої захисту, орієнтованому саме на ці специфічні

аварійні події, зберігається незалежно від рівня загальної модернізації системи керування.

1.4 Засоби автоматичного виявлення іскроутворення на колекторах

Щіткове іскроутворення є одним із найбільш інформативних індикаторів технічного стану машини постійного струму. Його виникнення сигналізує про порушення нормальних умов комутації і, якщо не вжити своєчасних заходів, може прогресувати до кругового вогню – повного охоплення кола колектора безперервною дугою з незворотним термічним пошкодженням колекторних пластин і обмоток. За своїм фізичним механізмом всі причини іскроутворення поділяються на дві принципово різні групи: механічне іскріння та електромагнітне іскріння [6].

Механічне іскріння спричинюється порушенням якості контакту між щіткою і поверхнею колектора незалежно від рівня електричного навантаження. Причиною може бути місцеве або загальне биття колектора, задири і подряпини на ковзній поверхні, недостатня глибина продорожування щілин між пластинами через виступання слюди, занадто тугу або занадто вільну посадку щіток у обоймах щіткотримачів, надмірна пружність бракетів, що провокує механічний відрив щітки від поверхні колектора, а також передача вібрацій від зовнішніх джерел – ходового механізму, черпального зусилля тощо. Характерна зовнішня ознака механічного іскріння – іскри переважно зеленуватого кольору, що рівномірно розподіляються по всій ширині щітки, при цьому підгар пластин носить хаотичний, безсистемний характер і не корелює з полюсним кроком машини. Для зниження інтенсивності механічного іскріння регулюють притискне зусилля щіток або, де це конструктивно можливо, знижують лінійну швидкість поверхні колектора [6].

Електромагнітне іскріння, навпаки, безпосередньо пов'язане з рівнем електричного навантаження і практично не залежить від швидкості обертання. Його джерело – реактивна ЕРС, що виникає у секції обмотки якоря в момент,

коли ця секція замикається щіткою, а процес комутації не завершено. Якщо реактивна ЕРС перевищує допустимий рівень, між щіткою і поверхнею колектора виникає іскровий розряд. Специфічні причини електромагнітного іскріння включають: коротке замикання або обрив у секціях обмотки якоря або в зрівнювальних з'єднаннях, неправильне розташування щіток відносно геометричної нейтралі, зсув щіткової траверси, несиметрію магнітного поля від пошкоджених котушок додаткових полюсів, а також деформацію ковзної поверхні колектора через нерівномірний тепловий знос. Характерними ознаками електромагнітного іскріння є біло-блакитний колір іскор кулясто-краплеподібної форми та закономірний підгар пластин, розташованих на відстані одного полюсного кроку, що дозволяє встановити конкретну причину несправності шляхом візуального огляду [6].

Для автоматичного виявлення іскроутворення існує патентне рішення на основі спеціального датчика струму, що встановлюється безпосередньо на щіткотримачі без зміни конструкції щітково-колекторного вузла (рис. 1.4). Принцип роботи пристрою полягає в тому, що вимірювальний трансформатор розрізної щітки фіксує різницю між струмами у двох паралельних галузях: постійні складові цих струмів взаємно компенсуються в осерді трансформатора і не замагнічують його, тоді як змінні складові, що характеризують поперечний (додатковий) струм щітки, підсумовуються і подвоюють реєстрований сигнал. Завдяки цьому досягається широкий динамічний діапазон вимірювання і висока чутливість до початкових стадій іскроутворення ще до того, як вони переростуть у катастрофічне кругове полум'я [6].

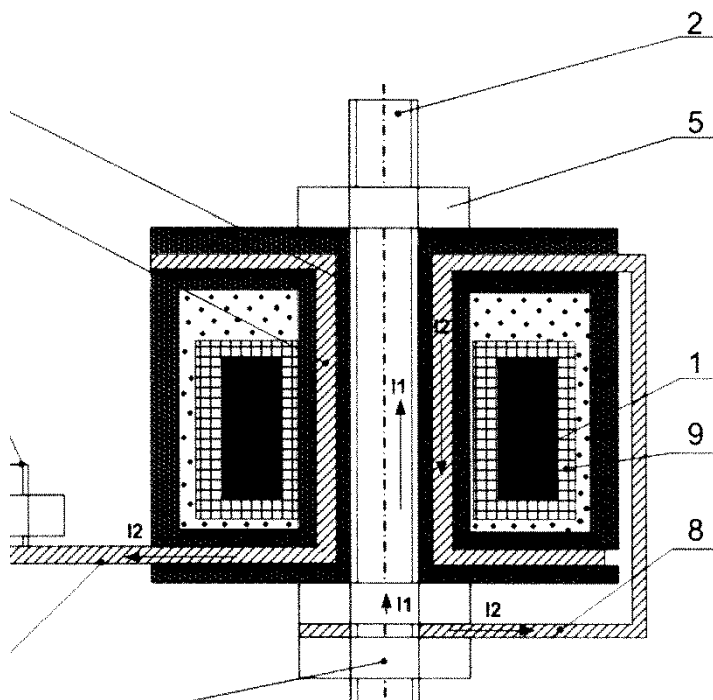


Рис. 1.4. Датчик струму на основі вимірювального трансформатора
(розроблено автором)

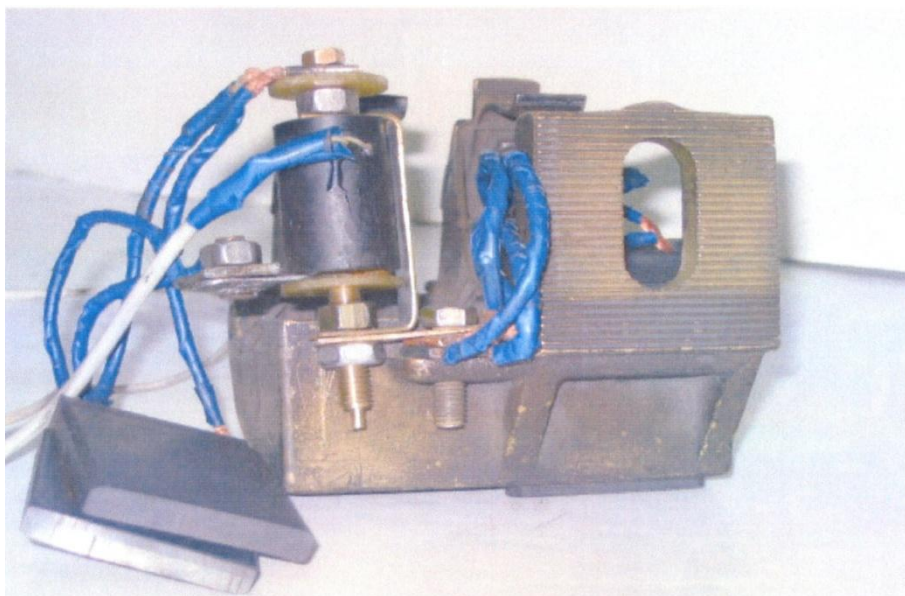


Рис. 1.5. Зовнішній вигляд датчика іскроутворення
(розроблено автором)

1.5 Постановка завдання випускної роботи

Виконаний аналіз конструктивних і схемотехнічних рішень систем керування головними електроприводами кар'єрних екскаваторів серії ЕКГ дозволяє сформулювати такі висновки. По-перше, незважаючи на підвищений – порівняно з сучасними системами – рівень питомих втрат електроенергії (близько 7 %), системи Г-Д залишатимуться основою електрообладнання значної частини парку ЕКГ щонайменше ще упродовж тривалого часу. По-друге, ані в існуючих системах керування, ані в комплектних пристроях нового покоління не реалізовано автоматичне виявлення і захист механізмів при виникненні таких специфічних аварійних подій [2, 3]:

- обрив каната двигуна відкривання днища ковша;
- втрата механічного зв'язку в лінії «синхронний двигун – генератор»;
- коротке замикання у силових колах постійного струму;
- підвищене іскріння та круговий вогонь на колекторах машин.

По-третє, відсутність зазначених захисних функцій не є наслідком принципової неможливості їх реалізації – вона пояснюється виключно рівнем технологій, доступних на момент проектування систем керування. Сучасна елементна база – GTO-тиристори з часом вимикання порядку 1-2 мкс, мікропроцесорні контролери з частотою дискретизації 250 Гц та фотодіодні датчики з відповідним спектральним діапазоном – принципово змінює ситуацію і робить реалізацію повноцінного комплексного захисту технічно досяжним завданням.

Аналіз доступних технічних публікацій і відкритих промислових розробок підтвердив відсутність серійно випускаємих засобів, що в повному обсязі вирішують поставлену задачу для умов застосування на кар'єрних екскаваторах. Це обумовлює актуальність і наукову новизну виконуваної роботи та визначає основне завдання випускної роботи: розроблення мікропроцесорного модуля захисту приводів екскаваторів серії ЕКГ, який забезпечує надійне автоматичне виявлення всіх чотирьох перелічених

аварійних подій і своєчасне відключення пошкодженого кола силовим електронним автоматом з часом спрацювання не більше 5 мкс від моменту виникнення струму короткого замикання.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Алгоритми виявлення аварійних подій

Розроблення алгоритмів ідентифікації аварійних подій є фундаментальним етапом проєктування пристрою захисту, оскільки саме від коректності та специфічності логічних умов залежить здатність системи відрізнити справжню аварію від нормального перехідного режиму роботи. Кожен із чотирьох алгоритмів побудовано на аналізі поєднання декількох незалежних вимірювальних сигналів упродовж заданого часового вікна, що дозволяє уникнути хибних спрацювань при короткочасних кидках струму або напруги в нормальних пускових режимах.

2.1.1 Алгоритм виявлення обриву каната

Сигнал обриву каната двигуна відкривання днища ковша (O_k) формується на підставі одночасного виконання трьох умов: наявності команди від системи керування на відкривання днища ($K_{від} = 1$), відсутності очікуваного зростання струму якоря двигуна М5 після подачі команди ($I_{дв} \leq K_1$) та перевищення тривалості цього стану понад допустимий інтервал часу ($T - t_{від} \geq K_2$). Формально алгоритм має вигляд:

$$O_k = 1, \text{ якщо: } K_{від} = 1; I_{дв} \leq K_1; T - t_{від} \geq K_2 \quad (2.1)$$

де $K_{від}$ – логічний сигнал команди на відкривання (блок-контакт системи керування);

$I_{дв}$ – миттєве значення струму якоря двигуна відкривання, А;

K_1 – порогове значення струму, нижче якого фіксується відсутність реакції двигуна, А (визначається при налагодженні);

$t_{від}$ – астрономічний момент подачі команди на відкривання, с;

T – поточні показання годинника контролера, с;

K_2 – максимально допустима затримка появи струму після команди, с (визначається при налагодженні).

Фізична логіка алгоритму відображає таку закономірність: при справному тросі двигун М5, отримавши команду, протягом часу K_2 починає споживати струм, необхідний для подолання навантаження від пружин замку та ваги днища. Якщо ж протягом цього часу струм не зростає понад поріг K_1 , це означає, що двигун обертається без навантаження – канат обірвано і механізм не чинить опору. Своєчасне виявлення цієї події запобігає пошкодженню самого двигуна та конструктивних елементів ковша при наступному підйомі без замкненого днища.

2.1.2 Алгоритм виявлення втрати механічного зв'язку

Розрив з'єднання між синхронним двигуном і якорями генераторів є аварією, що загрожує виходом із ладу самого перетворювального агрегату внаслідок неконтрольованого розгону двигуна. Сигнал про втрату механічного зв'язку (Свмз) формується при виконанні умов:

$$\text{Свмз} = 1, \text{ якщо: } U_{\Gamma} \leq K_1; I_{\Gamma} \leq K_2; I_{\text{зг}} \geq K_3; T - t_{\text{від}} \geq K_4 \quad (2.2)$$

де U_{Γ} – напруга якоря генератора, В;

I_{Γ} – струм якоря генератора, А;

$I_{\text{зг}}$ – струм обмотки збудження генератора, А;

K_1, K_2, K_3 – порогові константи, визначені при налагодженні;

K_4 – часова константа від моменту подачі сигналу збудження, с.

Суть алгоритму полягає в тому, що при наявності збудження ($I_{\text{зг}} \geq K_3$) генератор зобов'язаний виробляти напругу і струм. Якщо через певний час після подачі збудження ні напруга, ні струм якоря не досягають очікуваних

значень – це свідчить про відсутність механічного обертання ротора генератора, тобто про розрив кінематичного зв'язку.

2.1.3 Алгоритм виявлення короткого замикання

Алгоритм виявлення КЗ у силових колах постійного струму є найбільш жорстким за часовими вимогами і вимагає прийняття рішення протягом 10 мс від моменту перевищення порогу. Умова формування сигналу КЗ (Скз):

$$Скз = 1, \text{ якщо: } I_g \geq 2,7 \cdot I_n \text{ протягом } 10 \text{ мс} \quad (2.3)$$

де I_g – поточний струм генератора, А;

I_n – номінальний струм генератора, А.

Коефіцієнт 2,7 обрано з урахуванням того, що струм упору при нормальному стопорінні механізму не перевищує $2,1 \cdot I_n$. Таким чином, між максимальним робочим струмом і порогом спрацювання захисту закладено запас близько 28 %, що виключає хибні спрацювання при стопорних режимах і одночасно забезпечує надійну ідентифікацію справжніх КЗ, при яких струм зростає значно швидше і до значно більших рівнів.

2.1.4 Алгоритм виявлення іскроутворення

Підвищене іскроутворення діагностується за перевищенням сигналу фотодіодного датчика порогового значення упродовж відносно тривалого часового вікна, що дозволяє відфільтрувати одиничні спалахи від тривалого аномального процесу:

$$C_i = 1, \text{ якщо: } U_{di} \geq K \text{ протягом } 1,5 \dots 2 \text{ с} \quad (2.4)$$

де $U_{ді}$ – аналоговий сигнал датчика іскри, B (пропорційний інтенсивності світлового потоку);

K – порогове значення, визначене при налагодженні залежно від типу машини.

2.1.5 Алгоритм виявлення обриву поля збудження двигуна

Обрив поля збудження двигуна є небезпечним режимом, оскільки при цьому двигун втрачає здатність розвивати момент, а швидкість некерованого зростає. Алгоритм діагностики ($C_{оп}$) побудовано на одночасному аналізі двох сигналів:

$$C_{оп} = 1, \text{ якщо: } I_{зд} \approx 0 \text{ та } U_{г} \neq 0 \text{ протягом } 1,5 \dots 2 \text{ с} \quad (2.5)$$

де $I_{зд}$ – струм збудження двигуна, А;

$U_{г}$ – напруга якоря генератора, В.

Логіка алгоритму виходить з того, що нульовий струм збудження при ненульовій напрузі генератора є апріорі аварійним станом: двигун отримує напругу, але не має поля збудження, що неминуче призведе до аварійного розгону. Алгоритм передбачений до включення у програму мікропроцесорного модуля в рамках поточної роботи.

2.2 Розробка структури пристрою

Виходячи з функціональних вимог, визначених алгоритмами (2.1)-(2.5), розроблюваний пристрій захисту зобов'язаний у реальному часі отримувати і опрацьовувати такі групи сигналів: аналогові сигнали струму якорів трьох генераторів (підйому, повороту, напору); аналогові сигнали напруги якорів трьох генераторів; аналогові сигнали струмів збудження трьох генераторів; аналогові сигнали струмів збудження восьми двигунів головних механізмів;

дискретні сигнали від командних апаратів машиніста (команди руху вперед і назад для чотирьох механізмів); аналогові сигнали від одинадцяти датчиків іскроутворення. Повну специфікацію вхідних і вихідних сигналів наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Загальна характеристика вхідних і вихідних сигналів пристрою

№	Найменування сигналу	К-сть	Форма сигналу	Параметр	Значення	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
1	Струм якоря генератора напору	1	Аналог., пост. струм	мВ/кА	75/1	Два двигуни послідовно
2	Струм якоря генератора повороту	1	теж	теж	75/1	теж
3	Струм якоря генератора підйому	1	теж	теж	75/2	теж
4	Напруга якоря генератора напору	1	теж	В	800	—
5	Напруга якоря генератора повороту	1	теж	теж	800	—
6	Напруга якоря генератора підйому	1	теж	теж	900	—

Продовження табл.2.1

1	2	3	4	5	6	7
7	Струм збудження генератора	3	теж	мВ/А	—	—
8	Струм збудження двигуна	8	теж	теж	—	—
9	Команда руху Вперед	4	Дискр., сухий контакт	—	—	—
10	Команда руху Назад	4	теж	—	—	—
11	Сигнал відключення генератора	3	Відкр. колектор	А	0,3	—
12	Послідовний канал бездрот. зв'язку	1	Цифровий	кбод	115	GSM
13	Сигнал датчика іскроутворення	11	Аналог., 0–20 мА	мА	0-20	Фотодіодний датчик
14	РАЗОМ	36 сигналів				

Як впливає з табл. 2.1, пристрій опрацьовує 33 вхідних сигнали та формує три вихідних сигнали на закриття електронних автоматичних вимикачів, встановлених у якірних колах генераторів підйому, повороту і напору. Спрощену структурну схему пристрою захисту – де для наочності показано лише один генераторний канал – представлено на рис. 2.1. Суть спрощення полягає у відсутності на схемі ще двох аналогічних каналів, однак це жодним чином не впливає на розуміння принципу побудови системи.

Умовні позначення на рис. 2.1: ТЗ – реверсивний тиристорний збудник; RS – шунтовий датчик струму; Ізг – струм збудження генератора; LM1 – обмотка збудження генератора; СД – синхронний двигун; ЕА – електронний автоматичний вимикач; Г – генератор; ДІ – датчик іскри; R – дільник напруги; Уя – напруга якоря генератора; М – двигун головного привода; БК – сигнал

блок-контакту командного апарата; СВ – сигнал відключення; Ія – струм якоря генератора; LM2, LM3 – обмотки збудження двигунів; РС – робоча станція диспетчера; GSM – модем бездротового зв'язку.

На рис. 2.2 представлено схему організації обміну даними з використанням послідовних каналів зв'язку RS-485 між датчиками іскри, електронними автоматами та контролером керування, а також через GSM-модем – між контролером і робочою станцією диспетчера кар'єру.

2.3 Розробка датчика іскри

Технічна реалізація датчика іскри безпосередньо визначається спектральними характеристиками іскрового випромінювання в зоні щіткового апарата, встановленими в підрозділі 1.4. Як зазначено раніше, іскровий розряд між щіткою і колектором генерує оптичне випромінювання у видимому діапазоні з переважанням синього (440–485 нм), блакитного (485–500 нм), зеленого (500–565 нм) та жовтого (565–590 нм) кольорів. Характеристику відповідних довжин хвиль, частот і енергій фотонів наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Спектральні характеристики іскрового випромінювання

№	Колір	Довжина хвилі, нм	Частота, ТГц	Енергія фотонів, еВ
1	Синій	440–485	640–620	2,56–2,82
2	Блакитний	485–500	620–600	2,48–2,56
3	Зелений	500–565	600–530	2,19–2,48
4	Жовтий	565–590	530–510	2,10–2,19

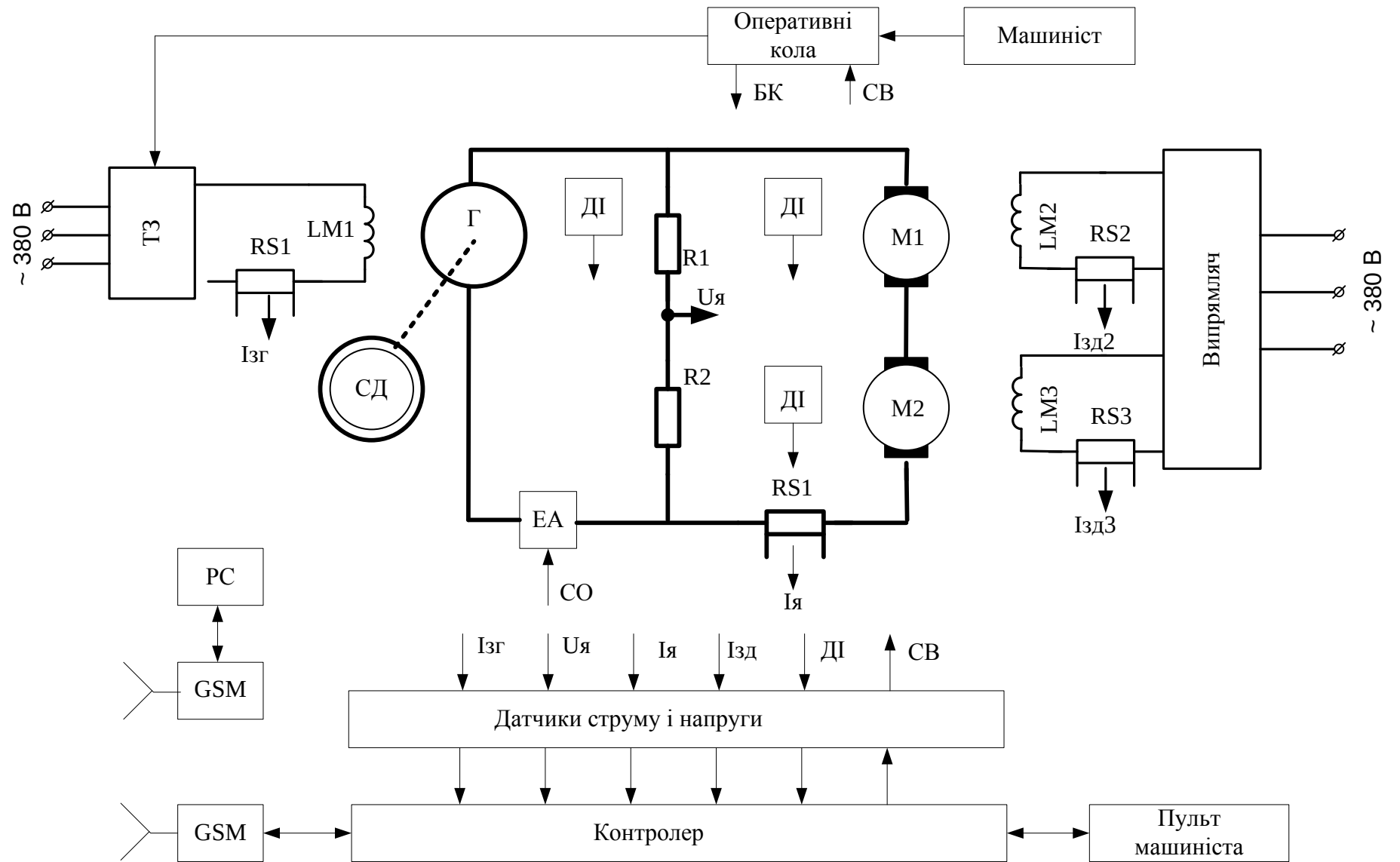


Рис.2.1. Структурна схема пристрою захисту
(розроблено автором)

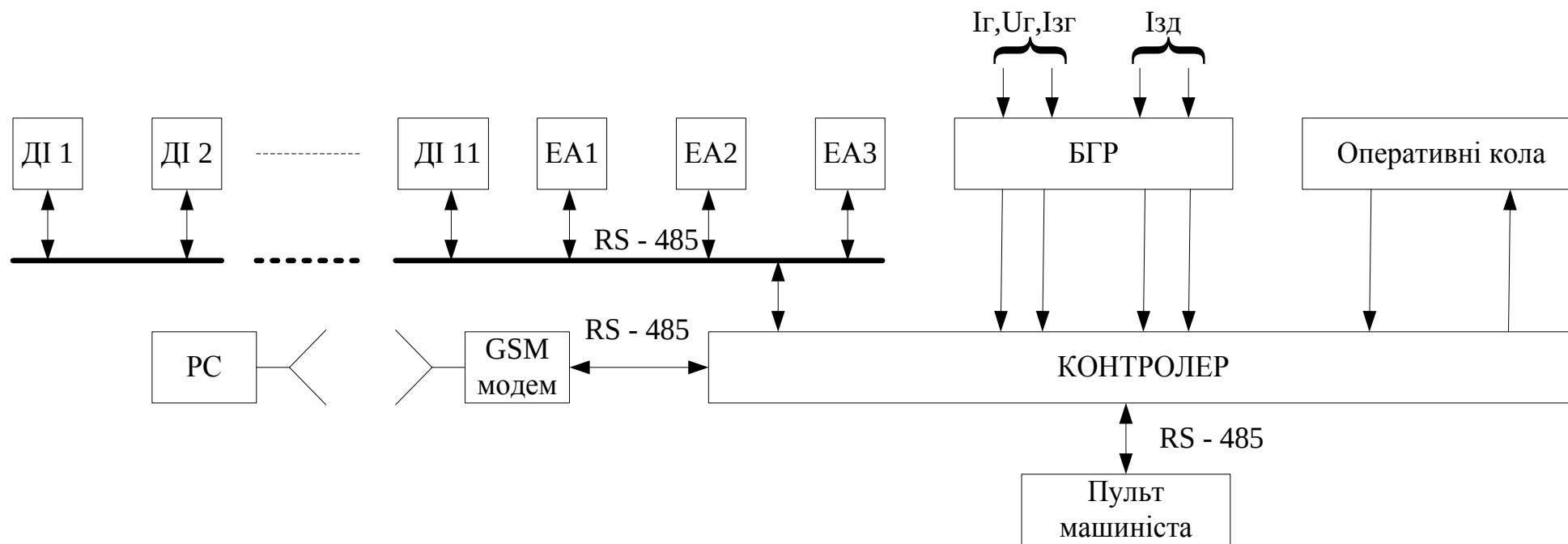


Рис.2.2. Організація обміну даними по послідовним каналам зв'язку
(розроблено автором)

Обґрунтований вибір чутливого елемента датчика вимагає відповідності його спектральної характеристики зазначеному діапазону 440-590 нм. Аналіз доступних фотоприймачів показав, що цим вимогам повністю відповідає фотодіод ФД288Д, спектральна характеристика якого, показана на рис. 2.3, перекриває весь необхідний діапазон. Відповідно до рис. 2.3, максимум чутливості ФД288Д припадає приблизно на довжину хвилі 530-550 нм, що збігається з центром спектрального діапазону іскрового випромінювання, а рівень темнового струму забезпечує достатнє відношення сигнал/шум при типових рівнях іскроутворення в колекторах машин ЕКГ.

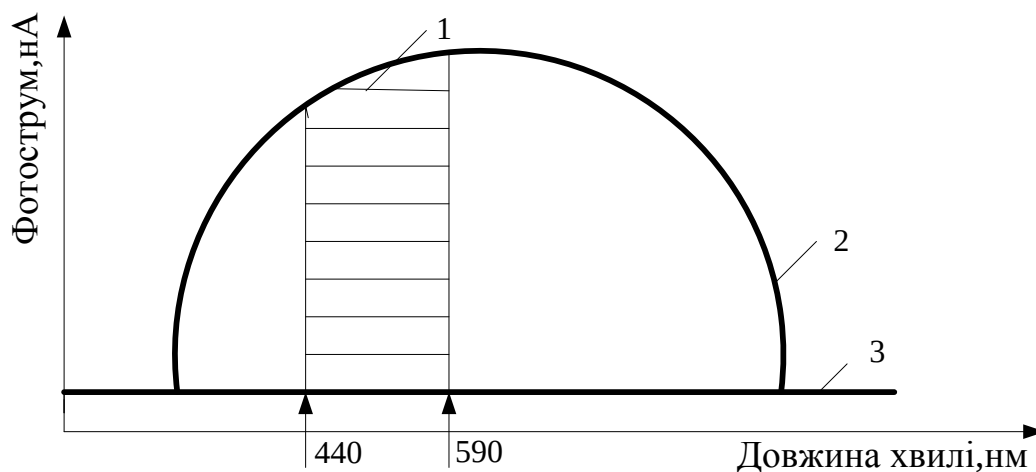


Рис.2.3. Графік, для вибору спектральної характеристики фотоприймача
(розроблено автором)

Конструктивно датчик іскри включає три паралельних фотодіоди ФД288Д, кожен з яких розміщується у фокусуючій оптичній лінзі і орієнтується на різні ділянки поверхні колектора. Використання трьох незалежних оптичних каналів дозволяє охопити більшу площу колектора і підвищити імовірність виявлення початкових стадій іскроутворення, локалізованого у зоні окремих щіткових бракетів. Структурну схему датчика наведено на рис. 2.4. Сигнали з трьох фотодіодів підсумовуються підсилювачем П і перетворюються у вихідні

сигнали двох типів: аналоговий сигнал, пропорційний сумарній інтенсивності іскроутворення, передається у контролер вищого рівня для поточного моніторингу; два дискретні виходи типу «сухий контакт» (замикаючий K1 та розмикаючий K2) спрацьовують при досягненні рівня іскроутворення, близького до критично допустимого, – при цьому у кабіні машиніста формується попереджувальний сигнал, а при отриманні дозволу від системи керування виконується автоматичне відключення привода. Детальний вибір типу лінз та конструктивне опрацювання корпусу датчика виходять за межі цієї роботи і є предметом окремої конструкторської документації.

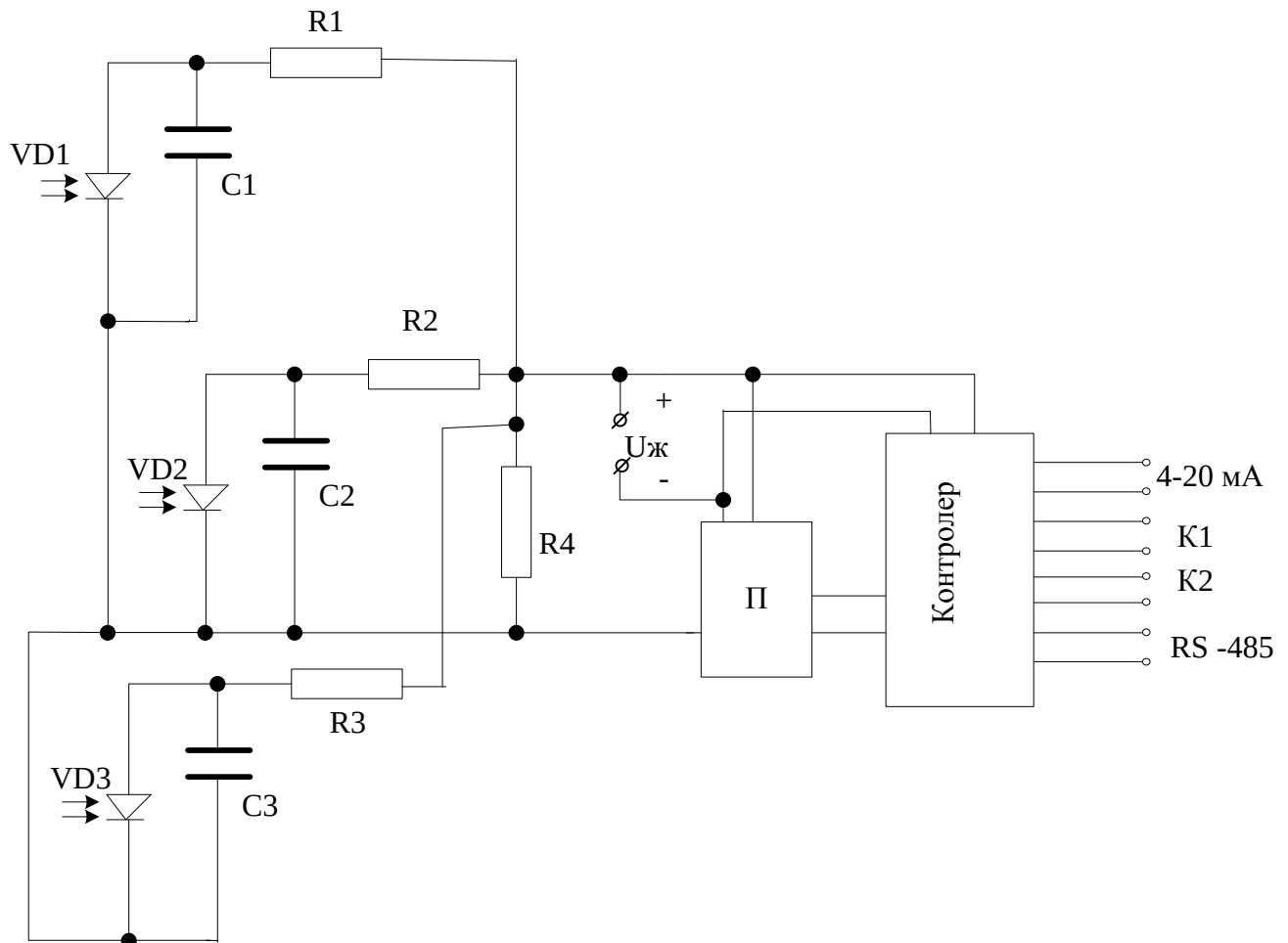


Рис.2.4. Структурна схема датчика іскри

П – посилювач; K1, K2 - сухий замикаючий і розмикаючий контакти
(розроблено автором)

2.4 Розробка електронного автоматичного вимикача

Проектування електронного автоматичного вимикача (ЕА) починається з формулювання технічних вимог на підставі даних про струмові режими силових кіл екскаватора (табл. 1.1). Максимальний номінальний струм серед усіх двигунів становить 800 А (привод підйому), а відповідний струм упору – 1850 А. Для забезпечення необхідного запасу надійності технічні вимоги до ЕА встановлено на рівні: струм відключення – не менше 2500 А; номінальна напруга – 1000 В; час спрацювання від моменту виникнення КЗ до відключення кола – не більше 1 мс.

Вибір силового комутуючого елемента виконувався методом порівняльного аналізу трьох класів напівпровідникових приладів: класичних тиристорів, тиристорів, що замикаються (GTO – Gate Turn-Off Thyristor), та IGBT-транзисторів. Аналіз показав, що IGBT-транзистори у даному застосуванні мають принциповий недолік: наявність вбудованого зворотного діода між стоком і витокм. Цей діод, необхідний для нормальної роботи транзистора при індуктивному навантаженні, у конкретних умовах кіл постійного струму системи Г-Д відкривається при певному поєднанні ЕРС генератора і двигуна та формує некерований наскрізний струм, показаний на рис. 2.5. Конкретний сценарій виникнення такого струму – ситуація, коли генератор набуває напруги, синфазної з ЕРС двигуна (наприклад, при рідкісному збої системи керування), а система не зафіксувала різке зростання струму за сигналом шунта. У цьому випадку IGBT виявляється принципово нездатним відключити коло. GTO-тиристири цього недоліку позбавлені, оскільки вони є однонаправленими приладами без вбудованих діодів і забезпечують відключення анодного струму силовим імпульсом на керуючий електрод. Саме тому обрано GTO-тиристири фірми ABB типу 5SGS 08D 4500 з такими характеристиками: максимальна напруга анод-катод – 4500 В; максимальний струм – 4000 А; час закривання – не більше 1 мкс; потужність керування – не більше 5 Вт [3].

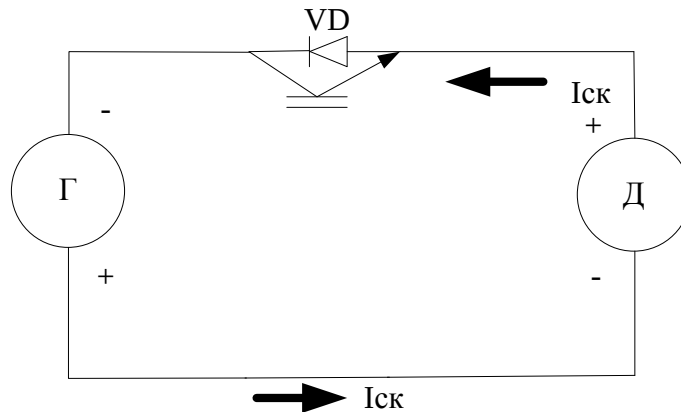


Рис. 2.5. Виникнення скрізного струму
(розроблено автором)

$I_{ск}$ - некеруємий скрізний струм, який проходить скрізь захисний діод транзистора IGBT

Схему включення автомата в силові кола системи Г-Д екскаватора показано на рис. 2.6. Автоматичний вимикач виконує такі функції: захист електричних машин відключенням при виникненні струмів вище стопорних з одночасною архівацією миттєвих значень струму якоря, струму збудження генератора і двигуна з прив'язкою до дати і часу; облік споживання електроенергії кожним механізмом; облік машинного часу роботи; передача накопичених даних у реальному часі диспетчеру через канал GSM.

а) даних по п. а)- п. в) диспетчерові.

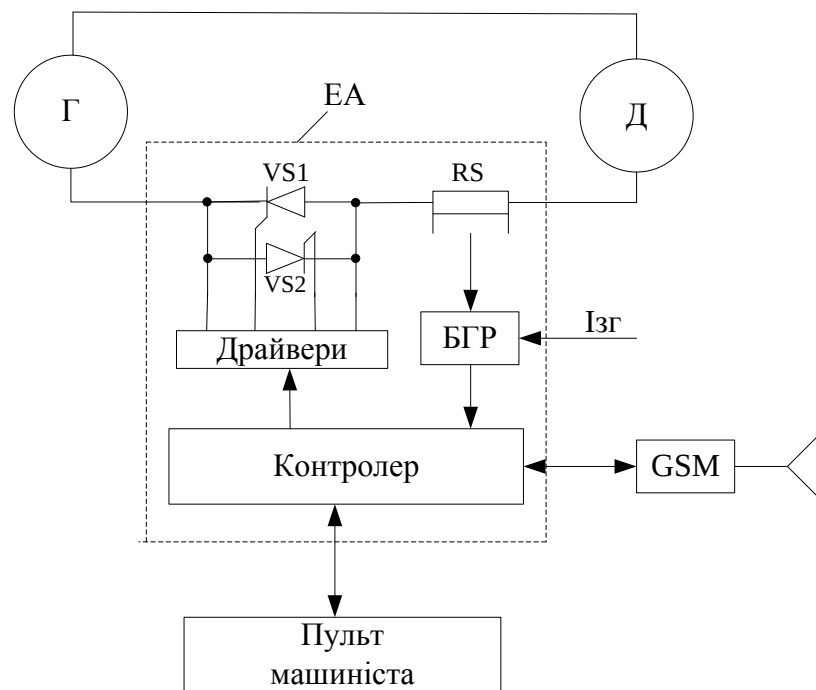


Рис. 2.6. Склад основних вузлів електронного вимикача

(розроблено автором)

ЕА - електронний автоматичний вимикач; RS – шунт; $I_{зг}$ – струм збудження генератора; БГР - Блок посилення і гальванічної розв'язки

2.5 Блок-схема алгоритму роботи пристрою

Блок-схему повного алгоритму роботи пристрою захисту наведено на рис. 2.7. У схемі прийнято такі умовні позначення: $\alpha 1$ – ознака першого входу в програму (ініціалізація); ЕА – електронний автоматичний вимикач; $\beta 1$, $\beta 2$, $\beta 3$ – комірки для зберігання поточних значень струму збудження генератора, струму якоря та напруги якоря відповідно; Т – показання годинника реального часу контролера; Т1 – мітка часу виявлення КЗ; λi – буфер значень сигналів у момент аварії (для архіву); ДІ – показання датчика іскри; $\beta 4$ – комірка сигналу датчика іскри; СВД – сигнал команди на відкривання днища; $\alpha 2$ – ознака наявності цієї команди; Т2 – мітка часу виявлення обриву каната; $\beta 5$ – комірка струму двигуна відкривання днища.

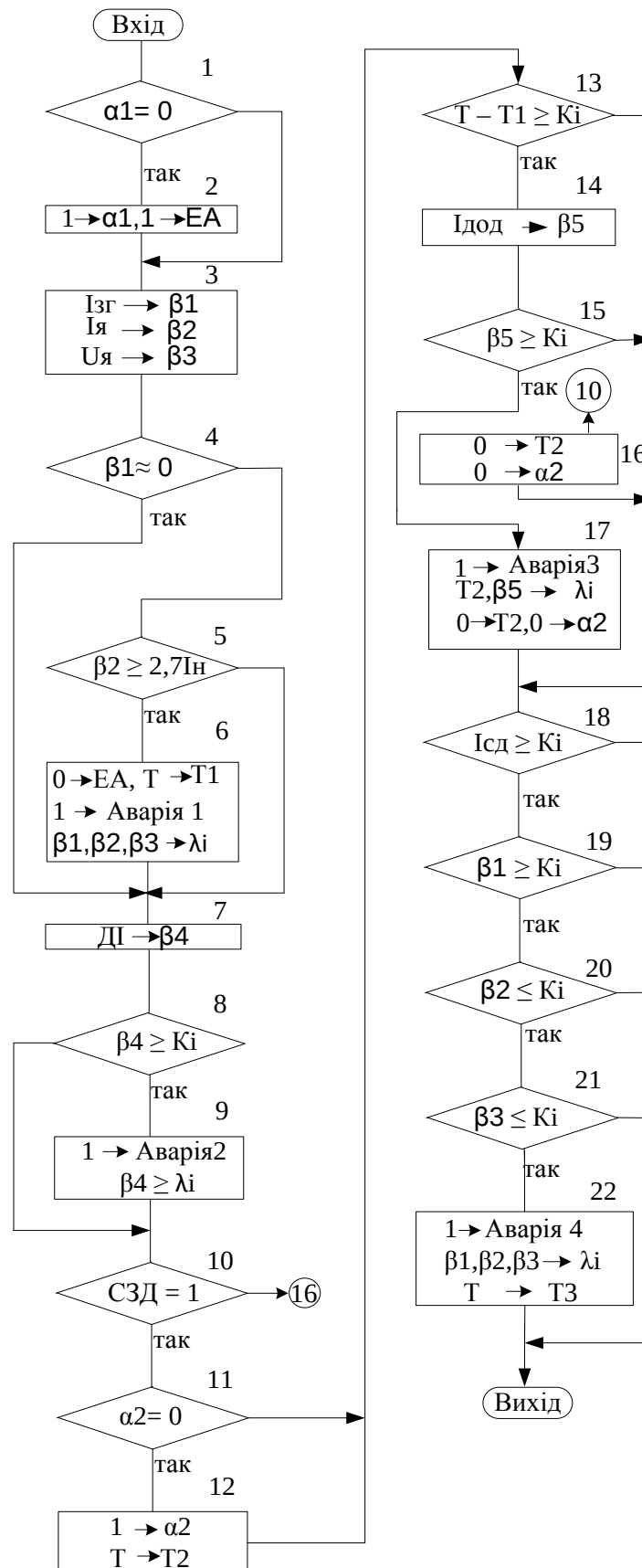


Рис. 2.7. Блок – схема алгоритму роботи пристрою
(розроблено автором)

За функціональним призначенням блоки алгоритму розподілені так: блоки 1-6 реалізують виявлення короткого замикання у силових колах; блоки 7-9 – контроль рівня іскроутворення; блоки 10-17 – виявлення обриву каната механізму відкривання днища; блоки 18-22 – діагностику втрати механічного зв'язку між синхронним двигуном і якорями генераторів. Тактова частота виконання основного циклу алгоритму становить 2 мс, що відповідає обраній частоті дискретизації сигналів і гарантує своєчасну реакцію системи на аварійні події відповідно до часових вимог алгоритмів (2.1)-(2.5).

2.6 Вибір основної елементної бази

2.6.1 Замикаючий тиристор

Вибір серійного типу GTO-тиристора виконувався виходячи з умов спрацювання електронного автомата та максимально можливих струмів і напруг у силових колах. З урахуванням необхідних коефіцієнтів запасу обрано тиристор типу 5SGS 08D 4500 виробництва ABB (Швейцарія/Швеція) з такими параметрами [3]:

Таблиця 2.3

Технічні параметри GTO-тиристора 5SGS 08D 4500 [3]

№	Параметр	Од. вим.	Значення
1	2	3	4
1	Виробник (країна)	–	ABB (CH/SE)
2	Напруга анод–катод максимальна	В	4500
3	Струм анодний максимальний	А	4000
4	Падіння напруги у відкритому стані	В	$\leq 1,7$
5	Внутрішній опір у відкритому стані	Ом	$\leq 0,003$
6	Допустиме du/dt	В/мкс	1000

Продовження табл. 2.3

1	2	3	4
7	Час закривання	мкс	≤ 1
8	Напруга керування	В	≤ 20
9	Потужність керування	Вт	≤ 5
10	Кліматичний діапазон	°C	-40...+115

2.6.2 Блок гальванічної розв'язки

Вихідний сигнал шунтового датчика струму є двополярним постійним струмом у діапазоні ± 75 мВ, що вимагає застосування спеціалізованого блоку нормалізації та гальванічної розв'язки (БГР) для узгодження з входами АЦП контролера. Обраний БГР задовольняє такі ключові вимоги: вхідна напруга – двополярна ± 75 мВ постійного струму; вихідний сигнал – 2,5 В при $U_{вх} = 0$ В, 5 В при $U_{вх} = +75$ мВ, 0 В при $U_{вх} = -75$ мВ; похибка перетворення – не більше 0,3 %; запізнювання – не більше 0,1 мс; кількість каналів в одному блоці – 4; іспитова напруга між входами та виходами – не менше 1500 В; кріплення – на DIN-рейку; кліматика – від -10 до +60 °C; габарити – 102×72×30 мм.

2.6.3 Контролер нижнього рівня

Функції первинного збору і попередньої обробки вимірювальних даних покладено на одноплатний контролер розробки ТОВ «КЕМ» (Україна) на базі мікроконтролера MICROCHIP PIC18. Вибір цього рішення обумовлений оптимальним поєднанням необхідного набору аналого-цифрових і дискретних входів, наявністю двох послідовних інтерфейсів RS-232/RS-485 та можливістю

оперативного перепрограмування через RS-232. До ключових параметрів контролера відносяться: 4 аналогових входи (0-5 В постійного струму) з похибкою АЦП не гірше 0,15 %, швидкодією не більше 5 мкс та розрядністю не менше 10 біт; 8 дискретних входів (0–24 В), 4 з яких мають індивідуальну гальванічну розв'язку та генерують переривання у контролері; 6 дискретних виходів (30 В, 0,3 А), 2 з яких гальванічно ізольовані; 1 аналоговий вихід 0-20 мА зі схемою «або» для підключення до восьми контролерів; зовнішнє ППЗП 128 кБайт для зберігання архівних даних; габарити – 200×150×100 мм.

2.6.4 Пульти машиніста (НМІ)

Для забезпечення функцій людино-машинного інтерфейсу у кабіні машиніста обрано операторську панель НМІ-430 виробництва ТОВ «Холіт Дейта Системс» (Україна). Вибір саме цього рішення обумовлений поєднанням доступної вартості, широкого температурного діапазону роботи (–20...+60 °С) і ступеня захисту IP64, що є принциповою вимогою для пристрою, встановленого у кабіні кар'єрного екскаватора. Технічні параметри наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Технічні характеристики операторської панелі НМІ-430

№	Параметр	Од. вим.	Значення
1	2	3	4
1	Виробник (країна)	–	Холіт Дейта Системс (UA)
2	Дисплей	–	LCD 4×20 симв.
3	Клавіатура	–	Мембрана, 30 кнопок

4	Протокол зв'язку	–	MODBUS RTU
---	------------------	---	------------

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4
5	Напруга живлення	В	10-30 пост. струму
6	Споживана потужність	Вт	$\leq 2,0$
7	Ступінь захисту	–	IP64
8	Робоча температура	°C	–20...+60
9	Габарити (щит. вик.)	мм	261×157×36
10	Маса	кг	0,65

2.6.5 GSM-модем

Для організації бездротового каналу зв'язку між пристроєм захисту на екскаваторі та робочою станцією диспетчера кар'єру обрано GSM-модем Siemens ES75 Terminal (Siemens AG, Німеччина). Визначальний фактор вибору – підтримка технології EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), що забезпечує пікову швидкість передачі даних до 384 кбіт/с, порівняно з 171 кбіт/с для стандартного GPRS. Це принципово важливо при передачі архівних пакетів даних значного обсягу після аварійних подій. Модем оснащено двома інтерфейсами підключення – USB 2.0 та COM (RS-232, 9-pin), металевим захисним корпусом і підтримує стандарти EGSM 900 / GSM 1800 / GSM 1900 / GSM 850 [3]. Технічні параметри наведено в табл. 2.5.

Технічні характеристики GSM-модема Siemens ES75 Terminal [3]

№	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Виробник (країна)	—	Siemens AG (DE)
2	Стандарт зв'язку	—	GSM/EDGE
3	Макс. швидкість EDGE	кбіт/с	384
4	Макс. швидкість GPRS	кбіт/с	171
5	Інтерфейси	—	USB 2.0, RS-232
6	Живлення	В	+9...24 (пост.)
7	Розміри	мм	76×53×31
8	Маса	г	110

2.6.6 Контролер верхнього рівня керування

Роль головного контролера, що координує роботу всіх підсистем пристрою захисту, виконує програмований модульний контролер WP-8441-EN серії WinPAC виробництва ICP DAS (Тайвань). Вибір цієї платформи обумовлений кількома принциповими чинниками. По-перше, наявність операційної системи Windows CE 5.0 дозволяє використовувати стандартні інструменти розробки програмного забезпечення (Visual Studio .NET, EVC++), що скорочує час налагодження і спрощує подальше технічне супроводження. По-друге, процесор PXA270 з тактовою частотою 520 МГц і розрядністю 32 біти забезпечує достатню обчислювальну потужність для паралельного виконання всіх алгоритмів захисту, ведення архіву і забезпечення зв'язку з диспетчером. По-третє, наявність двох портів Ethernet 10/100 Мбіт/с, повного

набору послідовних портів (USB, RS-232, RS-232/485, RS-485) і чотирьох слотів розширення для модулів введення-виведення серій I-8000W і I-87000W забезпечує необхідний набір інтерфейсів для підключення всіх підсистем. Зовнішній вигляд контролера наведено на рис. 2.8, технічні параметри – у табл. 2.6 [3].

Таблиця 2.6

Основні технічні параметри контролера WP-8441-EN [3]

№	Параметр	Од. вим.	Значення
1	Виробник (країна)	–	ICP DAS (TW)
2	Операційна система	–	Windows CE 5.0
3	Процесор / частота	МГц	PXA270 / 520
4	Оперативна пам'ять	МБ	128
5	Flash-пам'ять вбудована	МБ	96
6	Ethernet 10/100 Мбіт/с	шт.	2
7	Слоти розширення	шт.	4
8	Робоча температура	°C	–25...+75
9	Габарити	мм	231×132×111

2.6.7 Плата АЦП

Для аналого-цифрового перетворення вхідних сигналів обрано плату I-8017H виробництва ICP DAS (Тайвань) – 8-канальний модуль з диференціальними входами, розрядністю АЦП 14 біт і максимальною частотою

вибірки 100 кГц. Ця плата підтримує вимірювання напруги у діапазонах ± 10 , ± 5 , $\pm 2,5$, $\pm 1,25$ В та струму ± 20 мА (через зовнішній шунт 125 Ом); похибка – не більше $\pm 0,1$ %; гальванічна розв'язка 3000 В; захист від перенапруги ± 35 В; робоча температура $-25 \dots +75$ °С [3].

2.6.8 Плата дискретного введення-виведення

Введення і виведення дискретних сигналів реалізовано на базі плати I-8042 виробництва ICP DAS (Тайвань): 16 каналів дискретного введення (логічний «0» – $0 \dots +1$ В, логічна «1» – $+3,5 \dots +30$ В, вхідний опір 3 кОм, напруга ізоляції 3750 В) та 16 каналів дискретного виведення (відкритий колектор, струм навантаження 100 мА при 30 В, напруга ізоляції 3750 В, напруга живлення +5 В, споживання 0,4 А) [3].

2.7 Обґрунтування похибок і вибір частоти дискретизації сигналів

Коректне функціонування алгоритмів захисту безпосередньо залежить від точності вимірювання струмів і напруг у силових колах. Відповідно до структурної схеми (рис. 2.1), вимірювальний тракт розроблюваного пристрою включає послідовно з'єднані функціональні блоки: шунтовий датчик струму – блок нормалізації та гальванічної розв'язки сигналів – аналого-цифровий перетворювач контролера. Кожен з цих блоків вносить свою складову у сумарну похибку тракту. Максимально допустиму сумарну похибку λ визначаємо як арифметичну суму апаратних і методичних складових:

$$\lambda = \lambda_{ш} + \lambda_{бгр} + \lambda_{ацп} + \lambda_{м} + \lambda_{р} \quad (2.6)$$

де $\lambda_{ш}$ – похибка шунтового датчика, % (0,5 %);

$\lambda_{бгр}$ – похибка блоку гальванічної розв'язки, % (0,3 %);

$\lambda_{ацп}$ – похибка АЦП, % (0,15 %);

λ_m – методична похибка, зумовлена дискретністю опитування сигналів, %;

λ_p – похибка округлення у розрахунках (приймається рівною нулю).

Технічні вимоги до системи захисту (підрозділ 2.8) встановлюють граничне значення сумарної похибки вимірювань на рівні 3 %. Виходячи з цього, допустима методична складова:

$$\lambda_m = 3 - 0,5 - 0,3 - 0,15 \approx 2 \% \quad (2.7)$$

Оскільки у системі Г-Д найбільш динамічно мінливою вимірюваною величиною є струм, а не напруга, визначення частоти дискретизації виконується саме для струму. Виходячи з максимальної швидкості наростання струму в перехідних режимах, інтервал дискретизації Δt знаходимо з умови обмеження методичної похибки:

$$\Delta t = (0,02 \times 800) \times 1000 / 4000 = 4 \text{ мс} \quad (2.8)$$

де 800 – номінальний струм двигуна підйому, А;

1000 – кількість мілісекунд в одній секунді;

4000 – максимальна швидкість наростання струму, А/с.

Таким чином, необхідна частота дискретизації сигналів становить 250 Гц, що відповідає інтервалу між вибірками 4 мс. Цей результат узгоджується з прийнятою тактовою частотою виконання основного циклу алгоритму 2 мс (підрозділ 2.5), що закладає дворазовий запас за умовою теореми Котельникова і гарантує відсутність ефекту «складання» частот при оцифровуванні.

2.8 Технічні дані пристрою

На підставі виконаних розрахунків і обраних технічних рішень встановлено такі зведені технічні характеристики розроблюваного пристрою захисту приводів екскаватора ЕКГ-10:

а) основні функції – автоматичне виявлення у реальному часі таких аварійних подій: обрив каната двигуна відкривання днища ківша; втрата механічного зв'язку в лінії «синхронний двигун – генератор»; коротке замикання у силових колах постійного струму; виникнення підвищеного іскріння та кругового вогню на колекторах машин постійного струму;

б) основна елементна база: GTO-тиристори ABB 5SGS 08D 4500 (CH/SE) – для силових ключів; мікропроцесорні контролери ICP DAS WP-8441-EN та ТОВ «КЕМ» – для керування і збору даних; шунтові датчики струму з блоками гальванічної розв'язки – для вимірювання; фотодіоди ФД288Д – для датчиків іскри; GSM-модем Siemens ES75 – для бездротового зв'язку;

в) кількість і склад основних вузлів: три електронних автоматичних вимикача (по одному на кожен генераторний канал); одинадцять датчиків іскроутворення (по кількості щіткових вузлів машин постійного струму); один контролер керування у шафі; один пульт машиніста; одна робоча станція диспетчера;

г) основні параметри: напруга живлення – 220 В, 50 Гц; споживана потужність без урахування робочої станції – не більше 100 Вт; час від виникнення струму КЗ до відключення кола – не більше 5 мкс; похибка вимірювання струмів і напруг – не більше 3 %; частота опитування сигналів – 2 мс (500 Гц); кліматика (крім пульта машиніста) – від мінус 30 до плюс 65 °С; кліматика пульта машиніста – від мінус 20 до плюс 50 °С;

д) орієнтовні габарити основних блоків: електронний вимикач – 500×300×250 мм; датчик іскри – 300×250×120 мм; шафа контролера керування – 700×400×150 мм.

2.9 Охорона праці

2.9.1 Вибір і характеристика будівельного майданчика кар'єру

Південного ГЗК

Реалізація пропонованого рішення – впровадження мікропроцесорного пристрою захисту приводів на екскаваторах ЕКГ-10 – не змінює категорії виробництва і не передбачає спорудження нових виробничих об'єктів. Відповідно до [7], оскільки клас виробництва залишається незмінним, ширина санітарно-захисної зони не змінюється і вибір нового будівельного майданчика не виконується.

2.9.2 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів у кар'єрі АТ

«Південний ГЗК»

Поліпшення умов праці є одним із пріоритетних завдань охорони праці на підприємстві відповідно до [8]. Кар'єрне виробництво АТ «Південний ГЗК» характеризується складною сукупністю шкідливих і небезпечних виробничих факторів, які безпосередньо впливають на здоров'я та безпеку операторів гірничих машин – насамперед машиністів екскаваторів ЕКГ.

До основних небезпечних факторів, пов'язаних з рухом транспорту та роботою гірничих машин у кар'єрі, відносяться: дорожньо-транспортні пригоди і наїзди на персонал рухомим складом; падіння вантажів під час транспортування; ураження електричним струмом від електроустановок і кабелів; травмування обертовими і рухомими частинами машин при їх обслуговуванні без дотримання вимог безпеки [9]. Специфічною для екскаваторного вибою небезпекою є знаходження людей у зоні дії поворотної платформи, ковша і ходової частини машини, а також можливість обвалення уступу або випадання породи з ковша при транспортуванні.

Серед шкідливих факторів, які постійно впливають на машиніста екскаватора в умовах кар'єру, слід виділити такі. По-перше, підвищена запиленість повітря: при завантажувальних операціях фактична концентрація пилу фіброгенної дії у зоні кабіни становить 5 мг/м^3 , що перевищує гранично допустиму концентрацію $1,8 \text{ мг/м}^3$ відповідно до [9] майже у три рази. Тривалий вплив рудничного пилу є причиною виникнення пневмоконіозу – характерного професійного захворювання гірників. По-друге, підвищений рівень шуму: вимірювання показують фактичний рівень 92 дБ(А) при нормативному значенні 80 дБ(А) за [10]; постійний вплив шуму погіршує слух, підвищує артеріальний тиск і знижує концентрацію уваги оператора. По-третє, вібрація з амплітудою до 1,2 мм, що передається через опорні поверхні сидіння машиніста; тривалий вплив загальної вібрації призводить до функціональних розладів різних систем організму. По-четверте, несприятливий температурний режим: влітку температура в кабіні може перевищувати $45\text{--}50 \text{ }^\circ\text{C}$, взимку робота ведеться при температурі до $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ на відкритому повітрі. По-п'яте, небезпека ураження електричним струмом від кабелів і електроустановок напругою 6 кВ – найбільш небезпечний фактор, що вимагає особливої уваги при технічному обслуговуванні.

Зведений аналіз відповідності фактичних значень шкідливих факторів нормативним представлено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Рівні небезпечних і шкідливих факторів у кар'єрі АТ «Південний ГЗК»

№	Фактор виробничого середовища	Од. вим.	Нормативне значення	Фактичне значення
1	2	3	4	5
1	Запиленість (пил фіброгенної дії)	мг/м^3	1,8	5,0
2	Шум	дБ(А)	80	92

Продовження табл. 2.7

1	2	3	4	5
3	Температура повітря (теплий період)	°C	18–27	35
4	Швидкість руху повітря	м/с	0,2–0,4	0,1
5	Відносна вологість	%	65	54
6	Освітленість у кабіні	лк	75	85

Аналіз табл. 2.7 свідчить, що два показники – рівень шуму та концентрація пилу – перевищують нормативні значення і вимагають обов'язкової розробки захисних заходів відповідно до [9, 10].

2.9.3 Заходи щодо зниження шкідливих та небезпечних чинників у кар'єрі АТ «Південний ГЗК»

На підставі виконаного аналізу розроблено комплекс організаційно-технічних заходів відповідно до [11]. Для захисту від теплового впливу в кабіні екскаватора встановлено вентилятор і кондиціонер; у верхній частині лобового скла передбачено світлозахисне зелене скло. При температурі повітря нижче – 10 °C щогодини надаються перерви тривалістю 10–15 хвилин для обігріву, а при –30 °C і нижче – перерви кожні 45 хвилин по 15 хвилин; у кабіні встановлено обігрівальний прилад, стіни теплоізовано.

Для боротьби з пилом основним заходом є зволоження породи у вибоях гідромоніторами або автоцистернами з витратою до 100 м³ води на один вибій за зміну; при від'ємних температурах застосовуються розчини хлористих солей або штучний сніг. Персонал зобов'язаний застосовувати респіратори типу «Пелюсток» під час виробничих операцій.

Захист від шуму реалізується через: облицювання внутрішньої поверхні стін кабіни звукоізоляційними матеріалами (мінеральна вата, поролон, пенополіуретан); встановлення звуковбирних кожухів на окремих агрегатах; якісне балансування обертових частин при ремонті. Захист від вібрації забезпечується антивібраційним сидінням машиніста з латексними подушками та спинкою, демпфіруванням вібруючих конструктивних елементів шаром пружнов'язких матеріалів [11].

Для захисту від ураження електричним струмом частини установок, що перебувають під напругою, виконуються недоступними: струмоприймачі огорожені, струмоведучі частини ізольовані, встановлено систему механічних блокувань, що не дозволяє відкривати кришки відсіків без попереднього зняття напруги. Перед переміщенням екскаватора кабель укладається у металеві труби або двотаврові балки; при роботі – на дерев'яні підставки. Усі вивідні кінці до двигунів і генераторів ізольовані, а гумова ізоляція кабелів 6 кВ по всій трасі прокладки захищається від механічних пошкоджень металевими трубами [7].

2.9.4 Розрахункова частина. Захисне заземлення

Виконаємо розрахунок захисного заземлення для мережі з ізольованою нейтраллю 6 кВ. Для установок напругою вище 1000 В допустимий опір заземлювального пристрою визначається відповідно до [7]:

$$R'_z \leq 250 / I_z \quad (2.9)$$

Розрахунковий струм замикання на землю:

$$I_z = U_\phi \cdot (35 \cdot I_k + I_v) / 1000 = 6 \cdot (35 \cdot 0,12 + 1,38) / 1000 \approx 0,034 \text{ А} \quad (2.10)$$

де $U_\phi = 6 \text{ кВ}$ – фазна напруга мережі;

$I_k = 0,12 \text{ км}$ – довжина кабельної лінії;

$l_v = 1,38$ км – сумарна довжина повітряних ліній.

Необхідний опір заземлювального пристрою: $R'_z = 250 / 0,034 \approx 7353$ Ом. Згідно з [7] приймаємо $R'_z = 4$ Ом. Питомий опір глинистого ґрунту при вологості 10–20 % від маси: $\rho = 40$ Ом·м. Для робочого заземлення використовуємо металеві труби $l = 2,5$ м, $d = 60$ мм, з'єднані смугою $S = 4$ мм². Опір розтіканню однієї труби:

$$R_{тр1} = (\rho / 2\pi l) \cdot [\ln(2l/d) + 0,5 \cdot \ln((4h+l) / (4h-l))] \approx 13,03 \text{ Ом} \quad (2.11)$$

З урахуванням сезонного коефіцієнта підвищення $\eta_z = 1,2$:

$$R_o = \eta_z \cdot R_{тр1} = 1,2 \cdot 13,03 = 15,64 \text{ Ом} \quad (2.12)$$

Кількість труб (при коефіцієнті використання $\eta_{CT} = 0,88$):

$$n = R_o / (R'_z \cdot \eta_{CT}) = 15,64 / (4 \cdot 0,88) \approx 5 \text{ шт.} \quad (2.13)$$

Довжина сполучних смуг між трубами: $l_{см} = 6 \cdot 5 = 30$ м. Опір розтіканню смуги при $h = 1,2$ м, $b = 80$ мм та коефіцієнті використання $\eta_{см} = 0,91$:

$$R_{см} = \rho / (\pi \cdot l_{п} \cdot \eta_{см}) \cdot \ln(2l_{см}^2 / (h \cdot b)) \approx 4,82 \text{ Ом} \quad (2.14)$$

Результуючий опір всього заземлювального пристрою:

$$R_{рез} = R_o \cdot R_{см} / (R_o / n \cdot CT + R_{см} \cdot \eta_{см}) \leq 4 \text{ Ом} \quad (2.15)$$

Розрахунок показує, що виконане заземлення неізолюваним мідним провідником перерізом 40 мм² (або алюмінієвим 55 мм²) задовольняє вимозі $R_{рез} \leq 4$ Ом і забезпечує надійний електрозахист персоналу відповідно до [7].

2.9.5 Вибір засобів індивідуального захисту

Відповідно до [12], для персоналу кар'єру АТ «Південний ГЗК», зайнятого на роботах з шкідливими умовами праці, передбачено безкоштовну видачу засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) у визначені терміни: бавовняний комбінезон – раз на 12 місяців; каска пластмасова – до зношування; брезентові рукавиці – раз на місяць; шкіряні черевики – раз на 12 місяців; захисні окуляри – до зношування. При передчасному зносі не з вини працівника ЗІЗ замінюються достроково. Додатково на кожній ділянці зберігаються колективні засоби захисту: ізолюючі штанги і кліщі (перевірка раз на 12 місяців), діелектричні рукавички, боти і килими (перевірка раз на 6 місяців), переносні заземлення (раз на 12 місяців) [7].

2.9.6 Вибір санітарно-побутових приміщень і пристроїв

До складу санітарно-побутових приміщень підприємства входять гардероби, умивальні, душові, туалети, пункти харчування і оздоровпункт. Розрахункова чисельність персоналу у найчисленнішу зміну – 120 осіб. Кількість душових сіток (норма – 1 на 3 особи): 40 шт.; кранів умивальника (норма – 1 на 20 осіб): 6 шт.; посадкових місць у їдальні (норма – 1 на 4 особи): 30 місць. Джерела питного водопостачання розташовано не далі 30 м від робочих місць; санітарні прилади – не далі 50 м. Норма питної води – 3 л на особу за зміну. Кар'єр цілодобово обслуговується оздоровпунктом 1-ї категорії [11].

2.9.7 Пожежна безпека

Шафи з електроустаткуванням ЕКГ-10 за своїми характеристиками відносяться до пожежонебезпечних приміщень категорії Г (за [13]) і класу П-2а.

В приміщеннях цього класу допускається встановлення електромашин захищеного виконання. Першоджерелами займання можуть бути перегрів елементів електронних схем, несправності систем електроживлення і кондиціонування, витоки паливно-мастильних матеріалів. Особливу небезпеку становить висока щільність монтажу електронних компонентів: при протіканні по сполучних проводах підвищеного струму значно зростає температура, що може спричинити оплавлення ізоляції і займання.

Первинними засобами пожежогасіння на поворотній платформі екскаватора є: два порошкові вогнегасники; металевий ящик із 200–300 кг сухого чистого піску і двома совками; у кабіні – вуглекислотний вогнегасник ВВ-2. Для оперативного зв'язку машиніста з диспетчерською службою на екскаваторі встановлено стаціонарну рацію. Системи попередження пожеж і протипожежного захисту відповідно до [13] спроектовані таким чином, щоб забезпечити пожежну безпеку персоналу і обладнання.

2.9.8 Екологія і охорона навколишнього середовища

Екологічна ситуація у м. Кривий Ріг, де розташоване АТ «Південний ГЗК», залишається одним із найгостріших питань регіональної екологічної політики. Тривала і масштабна гірничо-металургійна діяльність у регіоні сформувала значне техногенне навантаження на атмосферний басейн і водні об'єкти. Для виходу міста з екологічної кризи відповідно до постанови КМУ № 715 від 28.04.1999 р. в місті реалізується комплексний еколого-економічний експеримент.

Специфічний внесок транспортної складової у забруднення атмосфери міста є надзвичайно суттєвим: автотранспорт є джерелом близько 98 % викидів оксиду вуглецю, 46 % оксидів азоту і 63 % вуглеводнів. Для зниження техногенного навантаження від виробничої діяльності ГЗК реалізуються такі заходи: максимальне використання скельних порід у якості будівельного щебеню; застосування відходів збагачення для виробництва будівельних

матеріалів; поглиблення збагачення рудної сировини для скорочення питомих витрат на одиницю корисного компонента; охоронне та раціональне використання водних ресурсів (повторне застосування технічної води, глибоке очищення стічних вод перед скидом). Охорона повітряного басейну забезпечується газо- і пиловловлюючим обладнанням, нейтралізацією токсичних газів від буровибухових робіт і транспорту. Рекультивація пошкоджених земель проводиться у напрямках сільськогосподарського відновлення, лісонасадження та водогосподарського використання відповідно до затвердженого плану гірничотехнічної і біологічної рекультивації.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання випускної роботи розроблено мікропроцесорний модуль захисту приводів кар'єрних екскаваторів серії ЕКГ-10 в умовах АТ «Південний ГЗК». Досягнуті такі основні результати.

Встановлено, що системи керування діючого парку екскаваторів ЕКГ не реалізують автоматичного захисту від чотирьох специфічних аварійних подій: обриву каната механізму відкривання днища ковша, розриву механічного зв'язку між синхронним двигуном і генераторами, короткого замикання у силових колах постійного струму та підвищеного іскроутворення на колекторах машин. Відсутність цих захисних функцій призводить до аварій з тривалими простоями та матеріальними збитками у кілька сотень тисяч гривень.

Розроблено п'ять алгоритмів виявлення аварійних подій (формули 2.1-2.5), побудованих на аналізі поєднання незалежних вимірювальних сигналів у заданих часових вікнах. Ключовою особливістю алгоритму виявлення КЗ є порогове значення $2,7 \cdot I_n$, що закладає 28-відсотковий запас відносно максимального стопорного струму і унеможливорює хибні спрацювання при нормальних робочих режимах.

Обґрунтовано вибір GTO-тиристора ABB 5SGS 08D 4500 як силового комутуючого елемента електронного автоматичного вимикача. Порівняльний аналіз підтвердив принципову неможливість застосування IGBT-транзисторів через наявність вбудованих зворотних діодів, що в умовах системи Г-Д здатні сформувати некерований наскрізний струм. Час спрацювання розробленого ЕА – не більше 5 мкс від моменту виникнення КЗ – забезпечує повний захист обмоток від теплових і електродинамічних ушкоджень.

Розроблено та обґрунтовано структурну схему пристрою захисту, що включає три електронних автоматичних вимикача, одинадцять фотодіодних датчиків іскри ФД288Д, мікропроцесорну систему збору і обробки даних на базі контролерів ICP DAS WP-8441-EN та ТОВ «КЕМ», операторський пульт

HMI-430 і GSM-модем Siemens ES75 для бездротового зв'язку з диспетчером кар'єру.

Виконано аналіз похибок вимірювального тракту. Встановлено, що при частоті дискретизації сигналів 250 Гц з урахуванням апаратних похибок усіх ланок тракту сумарна похибка вимірювання струмів і напруг не перевищує 3 %, що цілком відповідає технічним вимогам до системи захисту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Чорний О.П., Сус Б.Б. Системи керування електроприводами: навч. посіб. Кременчук: КДУ, 2012. – 256 с.
2. Нечаєв Г.К., Кравченко О.В. Надійність та діагностика гірничого обладнання: навч. посіб. Дніпро: НГУ, 2015. – 312 с.
3. ICP DAS Co., Ltd. PAC & I/O Products Catalog 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.icpdas.com/en/download/index.php>. – Дата звернення: 15.03.2026.
4. Шевченко В.В., Голован І.В. Електричні машини. – Харків: НТУ «ХП», 2019. – 320 с.
5. Ясинський В.М., Гажаман В.І., Єліпашев В.М. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К.: Основа, 1998. – 382 с.
6. Бузанова Л.Д., Глиберман А.Я. Напівпровідникові фотоприймачі. М.: Енергія, 1986. – 288 с.
7. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. – К.: Держнаглядохоронпраці, 2001.
8. Закон України «Про охорону праці». № 2694-ХІІ від 14.10.1992 р. (із змінами станом на 01.01.2022). – К.: Верховна Рада України, 2022.
9. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. – К.: МОЗ України, 1999.
10. ДСН 3.3.6.037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – К.: МОЗ України, 1999.
11. НПАОП 0.00-1.24-10. Правила охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом. – К.: Держгірпромнагляд, 2010.
12. Наказ Держгірпромнагляду № 62 від 16.04.2009. Норми безплатної видачі спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам гірничодобувної галузі.
13. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – К.: Мінрегіонбуд, 2017.

StrikePlagiarism.com

Документ прийнятий

Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок
151-21д-2026арб

Автор
151-21д-2026арб

Науковий керівник / Експерт
Модло Є.О.

ІД документу
334249837

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту
6/10/2026

Дата редагування

Обсяг знайдених подібностей

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

3.01%

3.01%

КП 1

8667

Кількість слів

0.47%

0.47%

КЦ

64189

Кількість символів

Тривога

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

Заміна букв		25
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		28

Джерела

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

10 найдовших фраз

Копію тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	кількість ідентичних слів (фрагментів)
1	2015_705070204_Kofiyk_Oleh_Zenovlovych_18080 10/25/2024	34 (0.39 %)

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

Я, *Аммосов Валерій Юрійович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота Автоматизація гірничого виробництва. Удосконалення системи захисту приводів екскаваторів типу ЕКГ шляхом впровадження мікропроцесорного модуля в умовах АТ «Південний ГЗК» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

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

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

1.06.2026