



ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»

Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання

освітньо-професійної програми

«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

**на тему «Модернізація викатного елемента високовольтної комірки
КРУ-2-10»**

Керівник роботи

Богдан ЦИМБАЛ

Консультант від
бази практики

Віктор ПАТРЕЧЕНКО

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Володимир МОІСЕЄВ

Підсумкова атестацію	оцінка	за			
-------------------------	--------	----	--	--	--

Голова ЕК

Андрій ГОЛОЯДОВ



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра	автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Освітньо-кваліфікаційний рівень	магістр
Спеціальність	133 Галузеве машинобудування
ОПП	Комп'ютерне конструювання мехатронних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»

Світлана ГУРКОВСЬКА

(прізвище та ініціали)

(підпис)

«12» липня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Моїсеєва Володимира Ігоровича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи (проєкту) Модернізація викатного елемента високовольтної комірки КРУ-2-10

керівник роботи (проєкту) Цимбал Богдан Михайлович, доктор наук з державного управління, доцент

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

затверджені наказом Університету від 01.07.2024 № 162/01.07.2024.

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 01.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація. Зміст. Список умовних скорочень. Вступ. 1. Аналіз предметної області (1.1 Основні електричні машини та комутаційні апарати підстанцій; 1.2 Споживачі підстанцій високовольтних, промислової частоти). 2. Теоретичні дослідження (2.1 Елементна база існуючих розподільчих пристроїв; 2.2 Сучасні комутаційні пристрої; 2.3 Існуючі системи керування, релейного захисту та автоматизації розподільчих пристроїв 6-10 кВ; 2.4 Аналіз ключових параметрів вкочування візка). 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень (3.1 Програма та методика проведення експерименту; 3.2 Результати експериментальних досліджень; 3.3 Математичні розрахунки приводу, механічних властивостей; 3.4 Моделювання приводу вкочування візка вимикача в САПР SolidWorks). 4. Економічне обґрунтування (4.1 Економічні втрати на прикладі існуючого підприємства; 4.2 Витрати на модернізацію; 4.3 Розрахунок економічного ефекту). 5. Охорона праці на підприємстві (5.1 Електробезпека; 5.2 Усунення основної небезпеки). Висновки. Список використаної літератури. Додаток А. Додаток Б.



5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу: _____

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Консультант (прізвище, ініціали та посада)

7. Дата видачі завдання 05 липня 2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи (проекта)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	09.09.2024 – 03.11.2024	
2	Розділ 2. Теоретичні дослідження	04.11.2024 – 10.11.2024	
3	Розділ 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень	11.11.2024 – 17.11.2024	
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованих змін	18.11.2024 – 19.11.2024	
5	Розділ 5. Охорона праці	20.11.2024 – 21.11.2024	
6	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	22.11.2024 – 24.11.2024	
7	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	25.11.2024 – 27.11.2024	
8	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	25.11.2024 – 27.11.2024	
8	Рецензування завершеної роботи.	28.11.2024 – 01.12.2024	
9	Захист	02.12.2024 – 07.12.2024	

Здобувач

Володимир МОІСЕЄВ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Богдан ЦИМБАЛ

(підпис)

(прізвище та ініціали)



АНОТАЦІЯ

Моїсєєв Володимир Ігорович. Модернізація викатного елемента високовольтної комірки КРУ-2-10. - Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». ОПП «Комп'ютерне конструювання мехатронних систем» - ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2024.

Предметом кваліфікаційної роботи є дослідження існуючих приводів візків високовольтних вимикачів комірок КРУ-2-10, їх недоліків та особливостей експлуатації.

Об'єктом роботи являється елемент комплектного розподільного пристрою високовольтної підстанції – візок вимикача 6-10 кВ.

Мета дослідження полягає в знаходженні раціональної системи вкочення та викочування візка вимикача, яка дозволить знизити простий технологічного електрообладнання, економічні втрати та небезпечні фактори для працівників та оточуючих людей.

Завдання дослідження:

- 1) проаналізувати існуючу базу високовольтного електрообладнання підприємства;
- 2) вибрати оптимальні та найчастіше використані моделі та типи комірок високовольтних для подальшої модернізації;
- 3) розробити алгоритм роботи автоматизованої системи керування та оперування вимикачем високовольтним – комутаційним елементом комірки високовольтної КРУ-2-10;
- 4) провести експериментальні дослідження.

У першому розділі досліджено структуру енергопостачання технологічного електрообладнання, основні електричні машини та комутаційні апарати, які використовують на підстанціях 154 кВ, 6-10 кВ та ін. Визначено основні моделі на різних підстанціях, визначено поділ електроустановок за класом та типом споживачів, за категоріями електрообладнання. Зазначено різновиди викочуваних та не викочуваних елементів комірок високовольтних. Детально розглянуто комплектацію високовольтних комірок за типами. Розглянуто основний робочий високовольтний комутаційний апарат, який являє собою вимикач, його види за наповненням основного робочого органу полюса високовольтного (масляні або вакуумні).

У другому розділі кваліфікаційної роботи розглядаються теоретичні основи дослідження, які використовуються в кваліфікаційній роботі. Детально проаналізовано існуючі комірки високовольтні, які складають основну технічну базу промислових підприємств України. Додатково розглянуто робочі органи системи релейного захисту та автоматизації обладнання. Розглянуто можливості модернізації привода витканого елемента високовольтної комірки КРУ-2-10. Досліджено існуючі системи



контролю та керування електрообладнанням на підприємстві. Визначено ключові параметри процедури вкочування візка вимикача. На основі проведеного аналізу встановлено, що спадком сучасних підстанції промислового призначення є комутаційні апарати та електричні машини радянських розробок. Деталі для проведення ремонтів та обслуговування на сьогодні не поставляються. Електрообладнання потребує модернізації. Існує потенціал для поліпшення операційних показників, вирішення низки питань з промислової безпеки, екології. Розглянуті існуючі українські та іноземні сучасні зразки викочуваних елементів.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи розраховано та змодельовано модернізацію привода механізму вкочення та викочування візка з вимикачем високовольтної комірки КРУ-2-10. Викладено послідовність та методику проведення експерименту. Математично розраховано основні частини пасової передачі електричного приводу вкочення візка. Всі розрахунки та дослідження викладено в логічній послідовності, впорядковано, враховуючи теоретичне дослідження, що дає змогу виділити основні проблеми та перспективи розвитку в галузі машинобудування енергетичної сфери. Зробити необхідні рекомендації та висновки для поліпшення безпеки працівників, а також для підвищення ефективності підприємства.

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи проведено економічні розрахунки втрат, пов'язаних з експлуатацією існуючого високовольтного електрообладнання. Розраховано економічний ефект впровадження модернізації. Визначено, що на підстанції, яка живить технологічне силове електрообладнання фабрики РЗФ-1, за повної завантаженості виробництва товару, враховуючи маржу розглянутого періоду, загальні втрати за одну робочу зміну склали від 20080,2 \$ до 25817,4\$ (розрахунок з врахуванням маржі концентрату 2024 р). Ця сума втрат і визначає основні проблеми економічних втрат та збільшення операційної ефективності.

В п'ятому розділі наведено основні рекомендації з безпечної експлуатації та обслуговування модернізованого приладу. Наведено вимоги техніки безпеки та основні небезпечні фактори робочого простору електроустановки

**ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ВИСОКОВОЛЬТНА КОМІРКА, ВИМИКАЧ,
ЕКСПЛУАТАЦІЯ, ПРИВОД ВКОЧУВАННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ**



ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	10
1.1 Основні електричні машини та комутаційні апарати підстанцій.....	10
1.2 Споживачі підстанцій високовольтних, промислової частоти	11
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	17
2.1 Елементна база існуючих розподільчих пристроїв 6-10кВ.....	17
2.2 Сучасні комутаційні пристрої.....	26
2.3 Існуючі системи керування, релейного захисту та автоматизації розподільчих пристроїв 6-10 кВ.....	27
2.4 Аналіз ключових параметрів вкочування візка.....	36
3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
3.1 Програма та методика проведення експерименту.....	39
3.2 Результати експериментальних досліджень.....	42
3.3 Математичні розрахунки приводу, механічних властивостей	44
3.4 Моделювання приводу вкочування візка вимикача в САПР SolidWorks.....	49
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	53
4.1 Економічні втрати на прикладі існуючого підприємства.....	53
4.2 Витрати на модернізацію.....	54
4.3 Розрахунок економічного ефекту.....	55
5 ОХОРОНА ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ	57
5.1 Електробезпека.....	57
5.2 Усунення основної небезпеки.....	58
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	61
ДОДАТОК А ОДНОЛІНІЙНА СХЕМА ПІДСТАНЦІЇ.....	62
ДОДАТОК Б КАРТА НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ.....	63



СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПТЕЕС – правила технічної експлуатації електроустановок споживачів

ПБЕЕС – правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

МВ – масляний вимикач

ВВ – вакуумний вимикач

КРУ – комплектне розподільче устаткування

КРП – комплектний розподільчий пристрій

НЗ – начальник зміни

ОП – охорона праці

ПБ – правила безпеки

ВРУ – відкрите розподільче устаткування

ЗРУ – закрите розподільче устаткування

РЗА – релейний захист та автоматика

ТМ – телемеханік

ОПК – оперативний пункт керування

ТП – трансформаторна підстанція

КТП – комплектна трансформаторна підстанція

ЦМП – цех мереж та підстанцій

ДФ – дробильна фабрика

РЗФ – рудозбагачувальна фабрика

ЦВО – цех виробництва окатишів

КЗ – коротке замикання

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

ТО – технічний огляд

ПР – поточний ремонт



ВСТУП

Впровадження сучасних технологій та новітніх систем автоматизації у промисловості України ставить нові вимоги до якості електроенергії та надійності електропостачання підприємства. Електроенергія розглядається як предмет споживання та продажу і повинна відповідати нормам якості. Причому для надання послуг електропостачання слід підтримувати вказані показники (відхилення, напруги, частоту та ін.) на належному рівні за допомогою спеціальних технічних засобів, оскільки електроенергія є специфічним товаром, що споживається практично миттєво, відразу ж після її виробництва [1].

Електроенергетика в нових ринкових умовах переходить на якісно новий рівень свого розвитку, відбуваються значні структурні перетворення в усіх галузях промисловості та енергетики, ґрунтовні зміни відповідно до нових економічних умов. В першу чергу це стосується розвитку нових технологій при виробництві, розподілі та споживанні електричної енергії, скороченні всіх видів витрат і підвищенні рівня використання вторинних енергетичних ресурсів, вдосконаленні та модернізації технологічного енергетичного обладнання електричних станцій та підстанцій. Одним з ключових напрямків в реалізації енергоощадних технологій, які визначають ефективність роботи як електроенергетики на всіх етапах виробництва, розподілу та споживання електричної енергії, так і інших галузей виробництва, є розвиток галузі електроапаратобудування. Актуальною є модернізація існуючих та розробка нових типів електричних апаратів на основі сучасних технологій, підвищення рівня напруг та струмів, зменшення габаритів та маси, підвищення їх надійності, ресурсу та швидкодії. Ці вимоги висувуються тому, що переважна більшість електричних апаратів має досить ефективно працювати в сучасних автоматизованих та автоматичних системах керування складними технологічними процесами, агрегатами, машинами та обладнанням на електричних станціях, в електроенергетичних системах і мережах. Забезпечення цих вимог щодо електричних апаратів є можливим тільки на основі глибоких теоретичних знань про фізику процесів та явищ, які протікають в струмоведучих частинах та самих електричних апаратах при різних режимах їх роботи в електроустановках, та вміння застосовувати ці знання, закони електротехніки та нові теоретичні розробки як при проектуванні та виробництві, так і при їх повсякденній експлуатації в електроустановках та енергосистемах. Окрім підвищених вимог до якості електричних апаратів, поліпшення їх технічних характеристик та культури експлуатації виникають також підвищені вимоги і до підготовки кваліфікованих інженерно-технічних кадрів і науковців, які будуть основною рушійною силою прогресу та ефективного функціонування електроенергетики країни в цілому [2].



Апробація результатів:

1. Цимбал Б.М., Моїсєєв В.І. Модернізація викатного елемента висковольтної комірки КРУ-2-10. *Інтелектуальні системи управління, робототехнічні, мехатронні та електроенергетичні комплекси*: збірка матеріалів міжнародної науково-технічної конференції «MININGMETALTECH 2024 – Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу, технологій та освіти», м. Запоріжжя, 28-29 листопада 2024 р. Запоріжжя, 2024. С. 34-35. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-153>



1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Переважна більшість промислових об'єктів України створена за радянських часів. Всі схеми електропостачання, обладнання та розташування комутаційних та силових апаратів були типовими. З часом електрообладнання видозмінювалось, модернізувалось, проводився ретрофіт, але сама структура підстанцій та номінали ліній електропередач, які живлять технологічне електрообладнання підприємств – залишились в спадок.

1.1 Основні електричні машини та комутаційні апарати підстанцій

Об'єктом дослідження є високовольтні комірки підстанцій напругою 6-10 кВ.

Лінійна схема однієї з підстанцій 150/6 кВ приведена в Додатку А. Головна мета підстанції: безаварійно та стабільно постачати електричну енергію споживачам (кабельні та повітряні лінії, трансформатори власних потреб підстанції). Зовнішній вигляд основної електричної машини підстанції – силового трансформатора 150/6 кВ представлено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд основної електричної машини підстанції – силового трансформатора 150/6 кВ



Схема постачання електричної напруги необхідного номіналу виконується за допомогою силових електричних машин та комутаційних апаратів наступним чином: від енергопостачальної компанії на підстанцію надходить напруга номіналом 154 кВ двома окремими лініями на відкрите розподільче устаткування (далі ВРУ-154 кВ), на I та II секції 154 кВ даної електроустановки; на ВРУ-154 кВ напруга передається комутаційними апаратами (роз'єднувачі та відокремлювачі 154 кВ) на силові трансформатори потужністю 32 000 кВА; силові трансформатори (рисунок 1.1) перетворюють напругу 154 кВ в напругу, необхідну споживачеві – 6 кВ і живлять через ввідні масляні вимикачі електрообладнання закритого розподільчого устаткування 6 кВ (далі ЗРУ-6кВ); в ЗРУ-6кВ напруга розподіляється по секціям шин 6 кВ через струмообмежуючі реактори з відповідними споживачами; керування силовими комутаційними апаратами, релейним захистом та автоматизацією електрообладнання, колами сигналізації, аварійним освітленням виконане за допомогою джерела постійного струму (аккумуляторна батарея) і зарядно-випрямляючим пристроєм на номінальну напругу керування 230 В постійного струму; кола власних потреб підстанції живляться напругою 0,4 кВ та виконані за допомогою двох трансформаторів власних потреб 6/0,4 кВ потужністю 400 кВА, які заживлено від різних секцій 6 кВ; кола обліку електроенергії та контролю ізоляції мережі 6 кВ виконані вимірювальними трансформаторами напруги 6/0,1 кВ; кола струмових захистів виконані трансформаторами струму, які встановлені на кожному приєднанні, на кожному струмообмежуючому реакторі, на силових трансформаторах, що дає змогу дотримуватись селективності релейного захисту – виявлення та відсікання пошкодженої ділянки без припинення енергоспоживання справної ділянки мережі [1].

Дана структура організації електропостачання споживачів, технологічного електрообладнання фабрик та кар'єрів, є типовою для більшості підприємств гірничодобувної промисловості, металургії.

А враховуючі «вік» енергосистеми країни та часи її створення – більшість об'єктів енергоструктури мають багато схожих рис та обладнання, переважна більшість якого часів СРСР.

В залежності від проектних потужностей, типу споживача та його потреб (кабельна чи повітряна лінія, фідер контактної мережі електровозів, тощо) – обирається тип комутаційного електрообладнання. Від споживача залежить тип, номінальна потужність, номінальна напруга електрообладнання, тип системи релейного захисту та автоматизації, селективність енергосистеми [2].

1.2 Споживачі підстанцій високовольтних, промислової частоти

Дослідження було проведено на базі одного з ГЗК України.



Цех мереж і підстанцій хоча і не вважається основним виробничим цехом, але відіграє важливу роль у забезпеченні ефективного та стабільного виробничого процесу.

Основні функції включають у себе:

1) стабільне та безаварійне енергопостачання технологічного електрообладнання;

2) виконання робіт із заживлення нового електрообладнання під час перебудови та розширення кар'єрів та фабрик: перебудова повітряних ліній електропередач, монтаж кабельних високовольтних ліній електропередач;

3) оперативні перемикання для виводу в ремонт технологічного електрообладнання фабрик та кар'єрів, підготовка безпечного робочого місця для технологічного персоналу;

4) оперативні перемикання для виводу в ремонт та обслуговування ліній електропередачі, силового електрообладнання, яке на балансі ЦМП, в ремонт – підтримка працездатності та відповідності необхідним параметрам: стан високовольтної ізоляції, приводів, контактних частин, контроль стану, а в разі необхідності – заміна масла трансформаторного в маслонаповненому електрообладнанні;

5) під час повномасштабного вторгнення та обстрілів підстанцій енергосистеми України, частиною якої є і підстанції ЦМП, працівники та адміністрація ЦМП постійно розробляє плани робочого та аварійного заживлення обладнання ГЗК, а також об'єктів критичної інфраструктури, які заживлені від підстанцій ЦМП, постійно веде переговори та бере участь в оперативних перемиканнях для відновлення енергоструктури підприємства та прилеглого району.

Під час дослідження були розглянуті комутаційні апарати 6-10 кВ підстанцій ЦМП, а саме – комірки високовольтних вимикачів: їх будова, принципи дії, функція у системі енергопостачання, можливості для вдосконалення обладнання.

Основна структура комірки з високовольтним вимикачем, як одиниці енергосистеми, це:

1) комірка вимикача забезпечує функціонування викочуваного елемента (вкочення і викочування), в будові має монтажні місця для пристроїв релейного захисту (відсік релейного захисту), місця для заземлюючих пристроїв, вимірювальних трансформаторів струму (відсік трансформаторів струму);

2) відсік вимикача містить вимикач високовольтний на рухомому візку;

3) відсік шинних спусків слугує для з'єднання з сусідніми комірками в систему шин та для під'єднання до системи шин підстанції;

4) візок вимикача – конструкція, яка вкочується в робоче положення в комірку та з'єднує рухомі контакти масляного вимикача із секцією шин та споживачем для передачі електричної енергії, а також викочується в ремонтне положення для проведення ТР, ТО вимикача, Вкочення і



викочування виконане шляхом прокручення вручну привода вкочення на візку, який входить в зачеп з конструкцією комірки та по направляючим заїжджає в робоче положення;

5) вимикач високовольтний – на підстанціях 6-10 кВ існує два типи: масляні і вакуумні - основна будова три полюси, виконані у вигляді камер із діелектрика, в яких замикаються контакти, різниця полягає у тому, що у вакуумних вимикачах з камер видалене повітря для створення вакууму, а в масляних камери наповнені трансформаторним діелектричним маслом, функція камер вимикачів в обох випадках – це погашення електричної дуги високої напруги, яка виникає під час оперування вимикачем, також вимикач має привод увімкнення та вимкнення, блок-контакти для збору електричного ланцюга на увімкнення чи вимкнення у відповідних положеннях, контакти для контролю положення та готовності вимикача;

6) відсік релейного захисту: відсік з вторинною комутацією, шинками керування, сигналізації, пристроями релейного захисту (електромеханічні реле або мікропроцесорні пристрої РЗ). Обслуговується оперативно-ремонтним персоналом служби релейного захисту ЦМП;

7) відсік трансформаторів струму – містить в собі нижні нерухомі контакти, які під'єднано до споживача; трансформатори струму, які встановлені на кожній фазі окремо, для контролю вимірювання та струму навантаження; пристрої заземлення – заземлюючі ножі, які вмикаються для безпеки персоналу під час проведення ТО, ТР відсіку трансформаторів струму;

8) відсік шинних спусків – шини, які з'єднують вимикач із системою шин підстанції [3].

Основні функції вимикача 6-10 кВ:

1) вимикач має забезпечувати швидкодію під час перемикачів – для мережі з високою напругою комутаційні апарати мають обмежений час на увімкнення та вимкнення для зниження ризику перегріву або пошкодження контактної частини електричною дугою;

2) надійний контакт зі споживачем та секцією шин підстанції – рухомі контакти мають бути строго розташовані навпроти нерухомих контактів комірки, щоб під час вкочування комірки була максимальна площа прилягання контактних частин, рухомі контакти мають мати, в залежності від типу та виробника вимикача, визначену силу втискання, контакт в увімкненому положенні має мати опір перехідного контакту постійному струму: для масляних вимикачів у межах 150-300 мкОм, для вакуумних до 60 мкОм – збільшення опору призводить до нагріву та виходу з ладу контактної частини;

3) швидкодію під час аварійного вимкнення – реагувати на команди від системи релейного захисту та автоматики для уникнення утворення небезпеки всій системі шин та підстанції. Має виконуватись принцип



селективності, коли система релейного захисту, шляхом подачі команди на вимикач, «відсікає» пошкоджену ділянку;

4) мають мати строго визначену ізоляцію, що знизить ризик пробою та короткого замикання, для захисту навколишнього електрообладнання та персоналу. Для вимикачів 6-10 кВ ізоляція контактної частини від візка та корпусу комірки та вимикача має витримувати напругу під час високовольтичних випробувань 28,8 – 37,8 кВ промислової частоти;

5) надійність оперативних перемикачів – спрацювання приводу увімкнення/вимкнення під час керування вимикачем;

Всі вищезазначені функції виконуються за умови регулярного проведення ремонтів, оглядів, перевірок кіл керування та релейного захисту, високовольтичних випробувань та виміру опору перехідного контакту в увімкненому положенні згідно затвердженого графіку.

Перемикання та оперування комутаційними апаратами підстанції виконуються оперативним черговим персоналом за вказівкою або узгодженням з начальником зміни чи вищого керівника, який має право давати розпорядження.

Всі оперативні перемикання записуються в оперативну документацію (оперативний журнал, журнал заявок, журнал аварійних вимкнень, бланки перемикачів, наряди допуски в електроустановках).

ГЗК – одне з найбільших гірничодобувних підприємств Європи із закінченим циклом підготовки сировини для металургійної промисловості: залізрудного концентрату та окатишів.

До лютого 2022 року виробничі потужності підприємства дозволяють виробляти 14,2 млн. тон концентрату та 11,1 млн. тонн окатишів. Сировинною базою підприємства є великі родовища залізистих кварцитів, які розробляються Першотравневим і Ганнівським кар'єрами, загальні промислові запаси яких складають 3 108 млн. тон мінеральних ресурсів.

Сировинна база Північного комбінату представлена двома кар'єрами – Першотравневим і Ганнівським. До складу переробного комплексу входять 3 дробильні фабрики, 2 рудозбагачувальні фабрики, цех з виробництва окатишів. Споживачі, яких забезпечує енергопостачанням ЦМП.

Видобувний комплекс складається:

1) Першотравневий кар'єр - один з найбільших кар'єрів в Україні. Проектна глибина кар'єру 650 метрів. В даний час кар'єр простягається вшир на 2,5 тис. м, у довжину більше, ніж на 3 тис. м. Глибина кар'єра 400 м. Нижній його горизонт знаходиться на від'ємній позначці 285 м, має такі споживачі, як екскаватори, бурові станки потужністю 0,8-1 МВт, ТП і КТП 0,2 – 1 МВт;

2) Ганнівський кар'єр. Екскаватори, бурові станки потужністю 0,8-1 МВт, ТП і КТП 0,2 – 1 МВт. Проектна продуктивність кар'єра 10,0 млн. тон сирової руди на рік (глибина кар'єра досягла 275 м, ширина 1,2 тис. м, довжина 5, 250 тис. м).



Переробний комплекс складається:

1) на дробильної фабрики № 1 відбувається дроблення руди, що подається з ДФ-2. Обладнання: електричні двигуни (дробарка) напругою 6 кВ, потужністю 1-4 МВт, ТП і КТП до 1 МВт;

2) ДФ-2 – Руда Ганнівського кар'єра проходить I стадію дроблення, після чого транспортується на ДФ-1. Також здійснюється дроблення розкривних порід для виробництва щебеню. Обладнання: електричні двигуни (дробарка) напругою 6 кВ, потужністю 1-4 МВт, ТП і КТП до 1 МВт;

3) ДФ-3 – Циклічно-потокова технологія. За допомогою циклічно-потокової технології здійснюється подача руди з позначки-115м Першотравневого кар'єру на відмітку +68 м. Завдяки її впровадженню вже в першому кварталі 2007 року скоротилася відстань відкатки великовантажних автомобілів, зменшилася кількість перевантажувальних майданчиків. Це дало можливість розширити фронт гірничих робіт, збільшити обсяги видобутку руди, скоротити енерговитрати. На сьогодні оснащена найсучаснішим типом двигунів з частотними перетворювачами: електричні двигуни нового типу (дробарки, конвеєри) напругою 6 кВ, потужністю 1-2 МВт, ТП і КТП до 1 МВт;

4) збагачувальна фабрика № 1 (РЗФ-1): двигуни (млини) напругою 6 кВ, потужністю 1-4 МВт, ТП і КТП до 1МВт. Дроблена руда проходить три стадії подрібнення та збагачення з метою вилучення корисних компонентів, зокрема заліза. Такі об'єкти є важливими в гірничо-металургійній промисловості та виробництві сталі. Збагачення руд включає в себе ряд процесів, таких як подрібнення, подавання, сортування та відділення корисних мінералів від некорисних. Цей процес дозволяє підвищити вміст корисних компонентів та придатність руди для подальшого використання в металургійному виробництві;

5) збагачувальна фабрика № 2 (РЗФ-2): двигуни (млини) напругою 6 кВ, потужністю 1-4 МВт, ТП і КТП до 1МВт. Концентрат, вироблений на РЗФ-1, проходить дешламацію і фільтрацію;

6) цех виробництва окатишів №2 (ЦВО-2): електричні двигуни (вентилятори) напругою 6кВ, потужністю 1-4 МВт, ТП і КТП до 1 МВт. Представляє собою складний виробничий комплекс з виробництва окатишів, що включає в себе відділення вагоноперекидача, склади бентоніту та вапняку, відділення дроблення і подрібнення добавок (вапняку і бентоніту), бункери концентрату, відділення огрудкування, випалу, грохочення, навантажувальних бункерів, склад готових окатишів, відділення тягодутьових машин, дільниця газоочищення.

Відповідно до проектних навантажень та необхідних потужностей, в структурних підрозділах встановлене технологічне високовольтне електрообладнання, яке живлять підстанції Цеху мереж і підстанцій. Номінали напруги електропостачання 154, 35, 10 та 6 кВ.



Пульпонасосна станція: електричні двигуни (землесоси) напругою 6 кВ, потужністю 1-2 МВт, ТП і КТП до 1 МВт. Постачання технологічної води на фабрики.

Управління залізничного транспорту: контактна мережа електротягових агрегатів, 33 фідера потужністю до 6 МВт. Транспортування руди та розкривних порід.

Отже можна зробити висновки, що на сьогоднішній день підприємства і промисловість розвиваються з великими швидкостями. Потужності зростають, що вимагає нових рішень та впроваджень в сфері енергетики.



2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Елементна база існуючих розподільчих пристроїв 6-10кВ

На балансі підприємств України, як спадкоємців обладнання СРСР, існує декілька поширених типів високовольтних комірок. Переважна більшість високовольтних промислових машин та агрегатів розроблені під живлення від підстанцій, комутаційними апаратами яких є масляні вимикачі 6-10 кВ. З часом, обладнання в сфері енергетики модернізувалось та змінювалось, одна з модернізацій – встановлення на викочувані візки МВ модулі вакуумних вимикачів (ВВ). Самий розповсюджений варіант виконання комірки системи шин підстанцій – це комірка КРУ-2-10 з викочуваним елементом ВМП-10.

Зовнішній вигляд комірки КРУ-2-10 (модифікація КВ-02-10) можна побачити на рисунку 2.1., а її характеристики можна побачити в таблиці 2.1. Призначена для роботи в електричних установках трифазного змінного струму частотою 50 Гц напругою 6-10 кВ для систем з ізолюваною нейтраллю та заземленою через струмообмежуючий реактор.



Рисунок 2.1 – Комірка високовольтна КРУ-2-10 з викотним елементом – високовольтним вимикачем в складі діючої електроустановки



Таблиця 2.1 – Фізичні характеристики комірки КРУ-2-10

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
1	2	3
Номінальна напруга	кВ	6; 10
Найбільша робоча напруга	кВ	7,2; 12
Номінальний струм	А	630; 1000; 1600; 2000; 3150
Номінальний струм збірних шин	А	1000; 1600; 2000; 3150
Номінальні струми вимкнення	кА	40
Струм термічної стійкості для проміжку часу 1 с, кА	кА	34,5; 54,5
Струм термічної стійкості для проміжку часу 3 с, кА	кА	20; 31,5
Номінальний струм електродинамічної стійкості	кА	51; 81
Величина струму холостого ходу, відключеного роз'єднуючими контактами висувними елементами	А	0,4 (10 кВ); 0,6 (6 кВ)

На рисунку 2.2 зображена будова комірки: відсік збірних шин (1); ізолятор опорний (2); ізолятор прохідний типу ІП-10/1600 (3); розетки (4); кришка шинних спусків (5); перегородка (6); кришка відсіку трансформаторів струму (7); відсік трансформаторів струму (8); трансформатори струму (9); механізм штор (10); кабель – споживач (11); розетки (12); трансформатор струму ТЗЛМ (13); ножі заземлюючі (14); викотний елемент (15); передня дверцята (16); релейна шафа (17); корпус комірки (18); розвантажуючий клапан (19); роз'єм штепсельний (20).

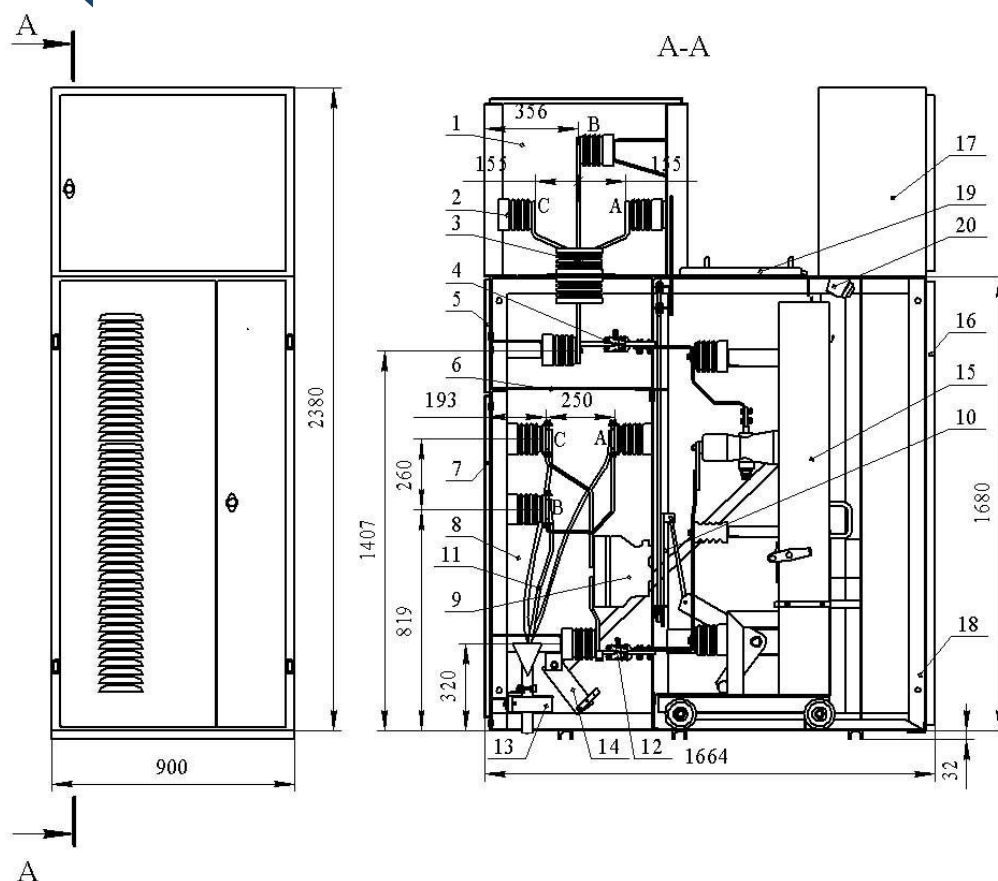


Рисунок 2.2 – Будова комірки КРУ-2-10

Масляний вимикач ВМП-10 комірки КРУ-2-10. Основний робочий орган комірки – високовольний вимикач. Дана комірка оснащена вимикачем масляним типу ВМП-10 (рис. 2.3, 2.4). Детальна будова полюса зображена на рисунку 2.5, 2.6.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд вимикача масляного ВМП-10, вид ззаду



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд вимикача масляного ВМП-10, вид збоку

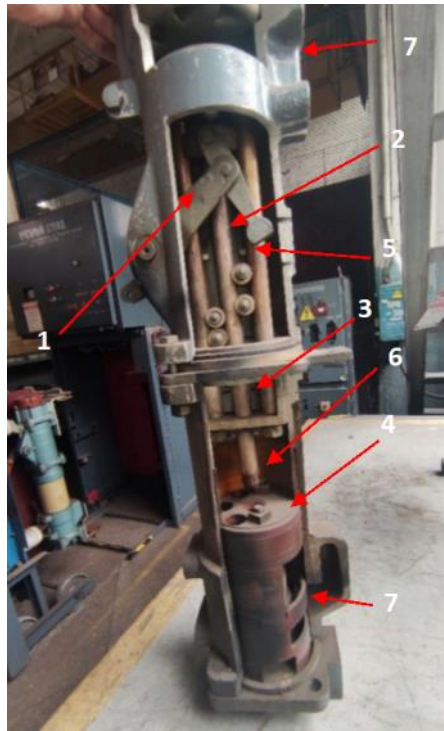


Рисунок 2.5 – Поліус масляного вимикача ВМП-10 в розрізі: 1 – шток контактний, рухомий; 2 – струмоз'йомні ролики; 3 – маслонаповнена камера; 4 – контакт розетоковий; 5 – направлячі; 6 – камера дугогасіння; 7 – місця під ошиновування полюса

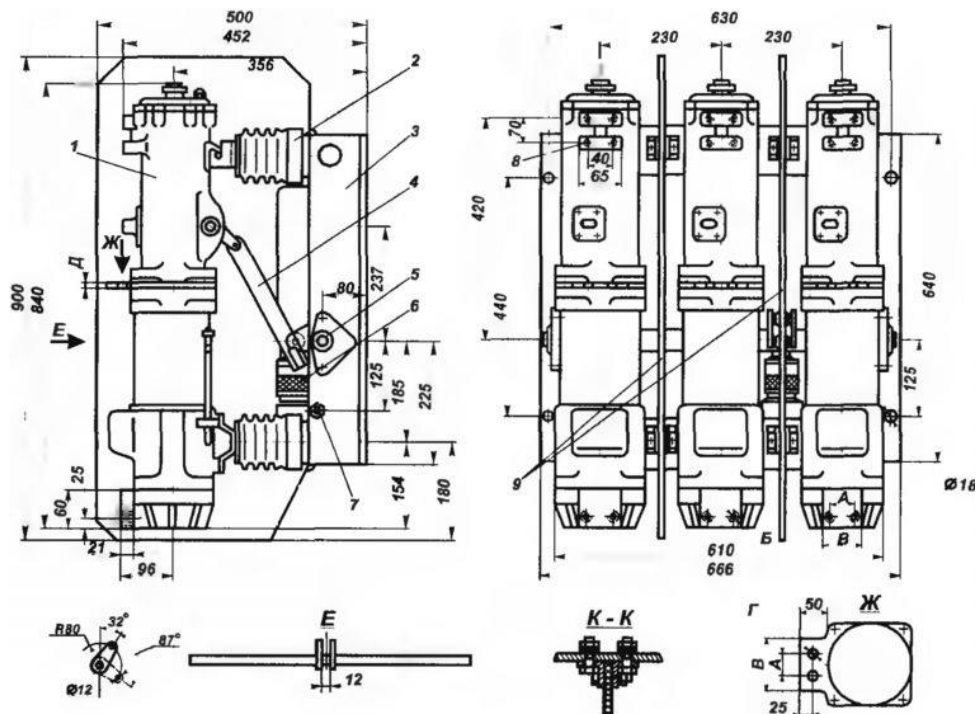


Рисунок 2.5 – Будова основних елементів масляного вимикача

Вимикач змонтований на зварювальній рамі 3, яка має отвори для кріплення на вертикальній стіні. Всередині рами розташований



приводний механізм, який складається з головного вала 5, вимикаючих пружин, масляного демпфера 6 та фіксатора увімкненого положення вимикача. На лицьовій стороні рами встановлено шість фарфорових ізолятора (по два на полюс), на які кріпляться полюса 1 вимикача. Передача руху головного валу вимикача до механізмів полюсів з рухомими контактами виконується за допомогою тяг 4, виконаних із вологостійкого ізоляційного матеріалу.

У раму вимикача вбудований електромагнітний привод ПЕВ-11 (ПЕВ-14). Рух передається від приводу через головний вал вимикача до механізмів переміщення рухомих контактів полюсів за допомогою ізоляційної тяги. Між полюсами встановлені ізоляційні перегородки для збільшення ізоляційного проміжку між фазами. До низу рами прикріплений контактор постійного струму, призначений для замикання й розмикання електричного силового ланцюга електромагнітного увімкнення привода вимикача. На рамі вимикача ВМПЕ 10 внизу встановлений болт для заземлення. Рама вимикача з фасаду закрита металевою кришкою, у якій є вікна: для спостереження за рівнем оливи в полюсах та показником положення вимикача; для кнопки ручного вимкнення вимикача; для керування механізмом вкатування й показника положення.

Структура умовного позначення вимикача. Приклад: вимикач ВМПЕ-10-630-20, ВМПЕ-10-1000-20, ВМПЕ-10-1600-31,5.

Розшифрування: В – вимикач, М – олійний (масляний); П – підвісне виготовлення полюсів; Е – вбудований електромагнітний привод; 10 – номінальна напруга, кВ; 630 (або 1000, 1600) – номінальний струм, А; 20 (або 31,5) – номінальний струм вимкнення, кА.

Комірка КРН -10 з вимикачем ВПМ-10. Також на підприємствах існує менш розповсюджений варіант комірки високовольної з не викочуваним елементом. Таким представником являється комірка КРН-10 (рис. 2.5) з масляним вимикачем ВПМ-10, параметри в таблиці 2.2.



Рисунок 2.5. – Комірки високовольтні КРН-10

Таблиця 2.2 – Фізичні характеристики комірки КРУ-2-10

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
1	2	3
Номінальна напруга	кВ	6; 10
Найбільша робоча напруга	кВ	7,2; 12
Номінальний струм	А	630; 1000; 1600; 2000; 3150
Номінальний струм збірних шин	А	1000; 1600; 2000; 3150
Номінальні струми вимкнення	кА	20; 31,5
Номінальна напруга допоміжних кіл, кіл керування	В	220
Кола освітлення всередині КРУ	В	36

Основний робочий орган комірки – високовольтний вимикач. Дана комірка оснащена вимикачем масляним типу ВПМ-10 (рисунку 2.7).



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд вимикача високовольтного ВПМ-10

Вимикач оливний ВПМ-10 (вимикач малооливний, підвісний) являє собою триполюсний, комутаційний апарат, призначений для роботи у внутрішніх установках змінного струму високої напруги частотою 50 ГЦ, зокрема для КРУ внутрішнього встановлення. Вимикачі ВПМ-10 призначені для увімкнення й вимкнення електричних ланцюгів під навантаженням та у разі коротких замикань.

Структура позначення вимикача ВПХ-10-20/Х УЗ показана в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Позначення вимикача

1	2
ВПМ	вимикач підвісний малоолійний
Х	«П», якщо застосовується привод ППО-10
10	номінальна напруга, кВ
20	номінальний струм вимкнення, кА
Х	номінальний струм вимикача (630; 1000), А
УЗ	кліматичне виконання й категорія розміщення
Х	«К», якщо застосовується в шафах КРУ К-26, К-59, К-104



Принцип роботи вимикача ґрунтується на погашенні дуги, що виникає в разі розмикання контактів, потоком газомасляної суміші, що утворюється внаслідок інтенсивного розкладання трансформаторної оливи під дією високої температури горіння дуги. Цей потік отримує певний напрямок у спеціальному дуговому пристрої, розміщеному в зоні горіння дуги. Увімкнення вимикача відбувається завдяки енергії приводу (ПЕ-11 або ПП-67), а вимкнення - завдяки енергії вимикачів пружин.

Три полюси вимикача підвішуються на опорних ізоляторах до зварної рами. Рух від вала вимикача до рухомих контактів полюсів передається ізоляційними важелями та сержками. Циліндри вимикачів на номінальний струм 1000 А виробляються з латуні, а на номінальний струм 630 А - зі сталі та мають поздовжній немагнітний шов. Вимикачі на номінальний струм 630 і 1000 А мають однакові контактні стрижні та розеткові контакти, а вирізняються кількістю гнучких зв'язків (на полюс вимикача 630 А - 1 шт., 1000 А - 2 шт.) і розмірами колодки. Верхній прохідний ізолятор полюса вимикача складається з порцелянового ізолятора, всередині якого поміщена бакелітова трубка. Бакелітова трубка слугує для збільшення електричної міцності проміжку між контактним стрижнем і циліндром полюса.

Недоліки застарілого електрообладнання. Електрообладнання, яке знаходиться в роботі промислових національних підприємств, в переважній більшості, виробництвом з радянських часів – технічно та морально застаріле.

Використання маслонаповненого електрообладнання веде за собою ряд недоліків та наслідків:

1) проблема екології: маслонаповнене електрообладнання в складі має масло трансформаторне, в переважній більшості марки Т-1500. Ця марка сірчанокислотної виробляється з малосірчистих нафт. Застосовуються для масляних вимикачів та іншої високовольтної апаратури (напругою до 500 кВ) як основний електроізоляційний матеріал. Має низьке кислотне число, з нього видалена волога та домішки. Під час обслуговування електрообладнання найважливішим параметром є контроль стану масла. Періодично беруться зразки на аналізи високовольтних випробувань та хімікофізичних властивостей. Відпрацьоване масло необхідно правильно утилізувати;

2) після розпаду СРСР запчастини до електрообладнання постачались із країни агресора. Наразі постачання зупинилось, існують ризики виходу з ладу без можливості відновлення;

3) вага масляного вимикача ВМПЕ-10 номінального струму 1600 А сягає 220 кг. В порівнянні, якщо візок вимикача ВМПЕ-10 модернізувати та встановити вакуумний модуль замість масляних полюсів, то вага зменшується до 110 кг. Враховуючи обслуговуючий черговий персонал на підстанціях (95% персоналу це жінки), а також зміщений центр тяжіння візка масляного вимикача, розмір колес, на яких перекочують візок – існує велика ймовірність травмування на робочому місці працівників [4].

2.2 Сучасні комутаційні пристрої

На сьогоднішній день одним із якісних та перспективних національних виробників являється компанія ТОВ «АВМ АМПЕР». Їх обладнання складає близько 30% всіх комутаційних апаратів ЦМП ГЗК. В цю кількість входять вимикачі 6-35кВ різних номіналів навантаження. Задовольняють технічні та паспортні вимоги споживачів та підстанцій ЦМП.

Розглянемо один із їх продуктів на існуючому підприємстві, яке пройшло експлуатаційні випробування та зарекомендувало себе задовільно з технічної сторони. На рисунку 2.8 зображено зовнішній вигляд комірки високовольтної ВМ-1.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд комірки ВМ-1 вид спереду

Робочим комутаційним апаратом являється візок ВМ-1 високовольтного вимикача ВБ-4-П. Номінальна напруга 6 кВ, номінальний струм 630 А, зображено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Вимикач ВБ-4-П на візку комірки ВМ-1

Керування виконано приводом вимикача, який дає змогу дистанційно виконати вкочення та викочення візка черв'ячним приводом з електродвигуном. На сьогоднішній день це один із розповсюджених та доступних елементів КРУ, який зарекомендував себе задовільно з технічної точки зору на існуючому підприємстві.

2.3 Існуючі системи керування, релейного захисту та автоматизації розподільчих пристроїв 6-10 кВ

Релейний захист має важливе значення для розвитку енергетики, підвищення надійності енергосистем. Релейний захист здійснює автоматичну ліквідацію пошкоджень та ненормальних режимів в електричній частині енергосистем і є найважливішою автоматикою, що забезпечує їх надійну та стійку роботу. У сучасних енергосистемах



значення релейного захисту особливо зростає у зв'язку з бурхливим розвитком потужності енергосистем, об'єднанням їх в єдині електрично пов'язані системи в межах кількох областей, усієї країни, і навіть кількох держав [4].

У зв'язку зі зростанням струмів короткого замикання, викликаним збільшенням генераторної потужності енергосистем, актуальним стає питання точності трансформації первинних струмів, що живлять вимірювальні органи релейного захисту. Для розв'язання цієї проблеми досліджується поведінка трансформаторів струму, вивчаються можливості підвищення їх точності, розробляються практичні методи розрахунку похибок трансформаторів струму й нові більш точні способи трансформації первинних струмів [4].

Основні споживачі мережі 6-10 кВ – двигуни промислових машин та агрегатів.

Релейний захист електродвигунів повинен реагувати на внутрішні пошкодження та небезпечні ненормальні режими. Релейний захист має бути простим та дешевим, але для електродвигунів потужністю понад 200 кВт можливе застосування складних захистів. Особливу роль відіграють електродвигуни механізмів власних потреб, вимкнення яких через неправильні дії релейного захисту може викликати порушення нормальної роботи електростанції. Тому захист електродвигунів важливих механізмів електростанцій повинен відрізнятися великою надійністю. Велике значення має самозапуск електродвигунів, що часто відбувається при к.з. та при автоматичному перемиканні двигуна (АПР). Захист електродвигунів повинен забезпечити самозапуск, тобто він не повинен передчасно вимикати електродвигуни як при зменшенні напруги, так і при її відновленні [4].

Основні параметри для захисту електродвигунів:

1) окремі пошкодження м.ф.к.з. в обмотках статора призводять до значних пошкоджень та зниження напруги мережі, тому обов'язково повинен бути захист електродвигунів від м.ф.к.з;

2) однофазні к.з. обмотки статора на землю менш небезпечні тому, що електродвигуни працюють з ізольованою нейтраллю. Захист від 1-фазне к.з. встановлюється, коли $I_{к.з.} > (5-10) A$;

3) захист від виткових замикань не встановлюють тому, що простих способів його виконання не існує;

4) часто виникають перевантаження по струму, тому захист від перевантаження в залежності від умов діє на сигнал, навантаження приводного механізму або вимкнення електродвигуна [4].

Як захист застосовується струмова відсічка, відрахована від пускових струмів і струмів самозапуску електродвигунів. При недостатній чутливості СВ для електродвигунів потужністю більш 2000 кВт, що мають 6 виводів, застосовується диференційний струмовий захист. На електродвигунах потужністю більше 5000 кВт застосування диф.захисту

є обов'язковим. Електродвигуни $U_{ном} \leq 500$ В захищають від к.з. запобіжниками [4].

На існуючих промислових підприємствах два типи комплектів релейного захисту. Одним з таких є комплект електромеханічних реле, які забезпечують струмовий захист приєднань – струмові реле, реле напруги, проміжкові реле та вказівні реле (вигляд відсіку релейного захисту комірки показано на рис. 2.10).

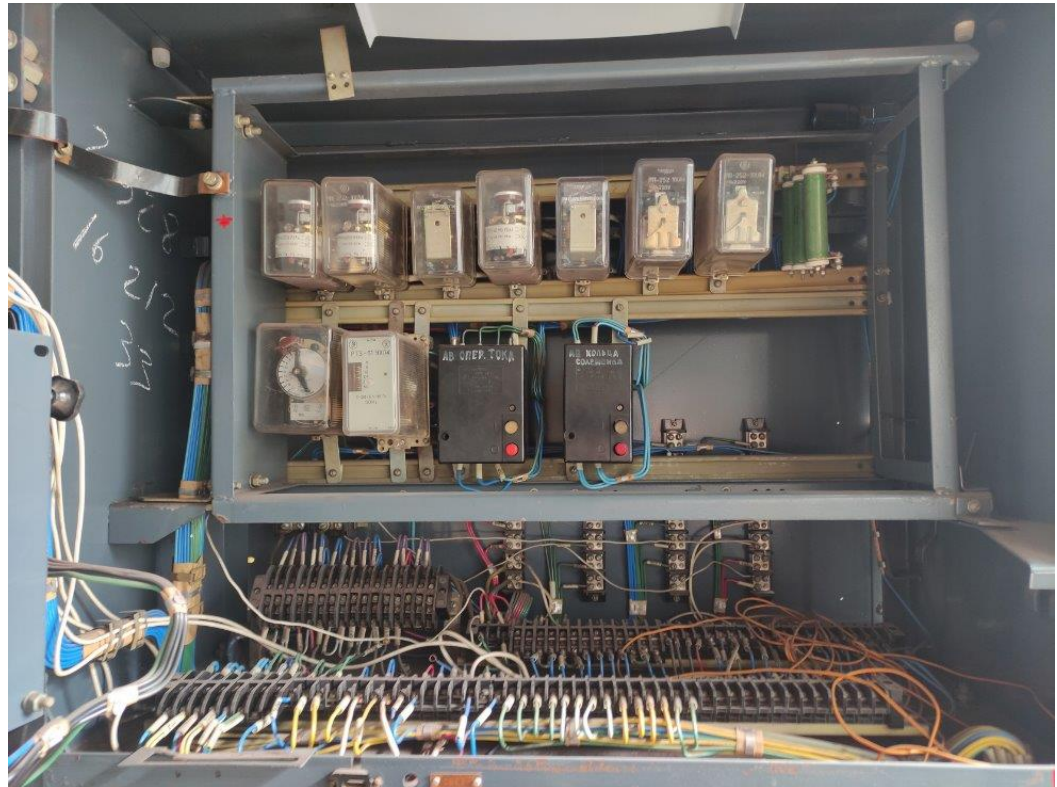


Рисунок 2.10 – Фото органів релейного захисту та автоматики старого типу

На рисунку 2.10 можна побачити основні робочі органи системи РЗ. Автомати оперативних кіл заживляють кола керування та захистів від шин оперативного струму. За струмові захисти (струмова відсічка, захист від однофазного замикання на землю, максимальний струмовий захист) відповідають електромеханічні реле РТ-40. За дотримання часових уставок захистів відповідає реле часу РВ-238. За контроль напруги на секції 6 кВ відповідає реле РН-50. За сигналізацію спрацювання конкретного захисту відповідає сигнальне реле РУ або РЕУ.

Дана система має суттєві недоліки, так як електромеханічні реле морально та технічно застарілі, виробництва СРСР та на сьогоднішній день вже не випускаються. Система має великий відсоток хибних спрацювань та відмов в роботі.

Іншим типом РЗА є система на базі мікропроцесорних пристроїв, в яких зібрані всі пускові органи, аналогові та дискретні входи та виходи,

органи керування та вимірювання, сигналізація. Розглянемо найпоширеніші варіанти національного та закордонного виробників.

Розповсюдженим терміналом РЗА на промислових підстанціях підприємства є термінал МРЗС (MRZS) виробництва НВП «Промавтоматика».

Зовнішній вигляд терміналу моделі MRZS-F2G12 показано на рисунку 2.11.

Пристрої РЗА типу МРЗС повністю відповідають вимогам та стандартам, які вимагаються в електроустановках промисловості.



Рисунок 2.11 – Термінал MRZS-F2G12 вид спереду

Пристрій об'єднує в собі функції контролю і вимірювання для забезпечення надійності та безпеки електромережі. Він здатен вимірювати фазні струми, струм однієї фази, струм нульової послідовності, струми прямої та зворотної послідовності, напругу, кути між аналоговими вимірами лінії, частоту мережі, активну та реактивну потужність, повну потужність та інші параметри [5].

Крім того, пристрій обладнаний функціями релейного захисту, включаючи максимальний струмовий захист, блокування від кидків струму намагнічування, захист зворотної послідовності, дуговий захист, захист від замикань на землю та інші [5].

Пристрій легко адаптується в існуючі комірки, та в АСДК підприємства, схема підключення проста та надійна (рисунок 2.12).

Програмування та задання необхідних параметрів захистів та автоматизації відбувається з панелі користувача або за допомогою програмного забезпечення WisiNet_2.

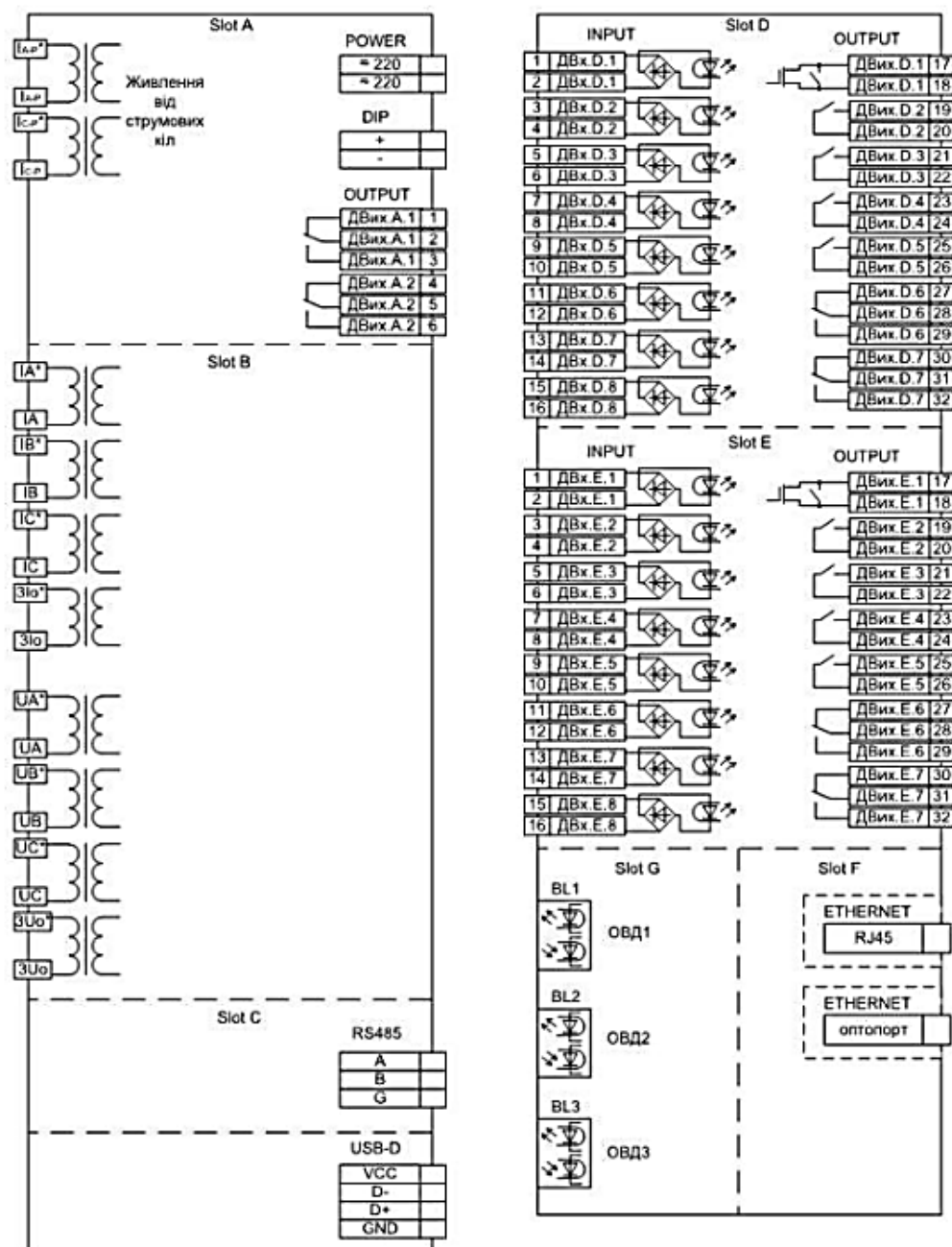


Рисунок 2.12 – Монтажна схема підключення терміналу MRZS у вторинні кола комірки

Пристрій оснащений:

- інтерфейс RS 485 - протокол обміну Modbus RTU;
- інтерфейс USB;
- Інтерфейс з вибором: Ethernet (RJ-45) - протокол обміну IEC 61850 (опціонально); Ethernet (оптичний ST) - протокол обміну IEC 61850 (опціонально) [5].

Адаптований термінал в комірку КРУ 6кВ показано на рисунку 2.13.



Рисунок 2.13 – Змонтований термінал МРЗС на комірку

Ще одним представником, який часто зустрічається на промислових підстанціях, являється термінал компанії ABB «REF-615» (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Термінал REF-615 вид зпереду

Призначення та основні функції схожі з MRZS, відрізняється тільки зручністю в монтажі – має зовнішню оболонку з виводами, яка монтується окремо від самого терміналу. В разі виходу з ладу однієї з плат, або модулів – зміна займає менше часу. Ранжування та встановлення параметрів захистів і автоматизації відбувається або з панелі користувача, або за допомогою ПЗ РСМ-600 шляхом підключення до ПК, або віддалено за допомогою підтримуючих протоколів.

REF615 – це спеціальний інтелектуальний електронний пристрій управління та захисту фідерів, призначений для захисту, управління, вимірювання та контролю в розподільчих мережах енергооб'єктів та промислових підприємств, включаючи радіальні, кільцеві мережі, мережі складної конфігурації, мережі з об'єктами розподіленої генерації або без них.

REF615 – це спеціальний пристрій захисту фідера, призначений для використання в якості основного максимального струмового захисту та захисту від замикань на землю повітряних та кабельних ліній у мережах із ізольованою нейтраллю, у мережах із нейтраллю, заземленою через резистор, з компенсованою або ефективно заземленою, залежно від стандартної конфігурації. Пристрій REF615 має дванадцять стандартних конфігурацій, дві з них мають максимальну функціональність та можливість налаштування відповідно до вимог замовника, одна з них призначена для застосування з датчиками, інша – з традиційними вимірювальними трансформаторами [6].

Переваги:

1) знімна конструкція для швидкої установки та тестування;

2) великий діапазон функцій захисту та управління, є вибір застосування традиційних чи електронних вимірювальних трансформаторів (датчиків);

3) готові стандартні конфігурації для швидкого введення пристрою в дію; можливість вносити зміни;

4) великий портфель захисту від замикань на землю доповнений унікальним мультичастотним захистом на базі контролю комплексної провідності для підвищення чутливості та селективності;

5) швидке виявлення коротких замикань та замикань на землю;

6) підтримка MEK 61850, Редакції 2 Редакції 1, включаючи підтримку протоколів HSR і PRP, обмін повідомленнями за технологією GOOSE та підтримку протоколу MEK 61850-9-2 LE частка зменшення обсягу монтажу та контролю зв'язку;

7) використання стандарту IEEE 1588 V2 для підвищення точності синхронізації часу та максимальних можливостей зв'язку Ethernet на підстанції;

8) великий графічний дисплей для відображення мнемосхем з можливістю зміни, доступних через локальний або веб-ІЧМ [6].

На сьогоднішній день компанія зняла з ринку України цей продукт, не обслуговується.

Адаптований термінал показано на рисунку 2.15.

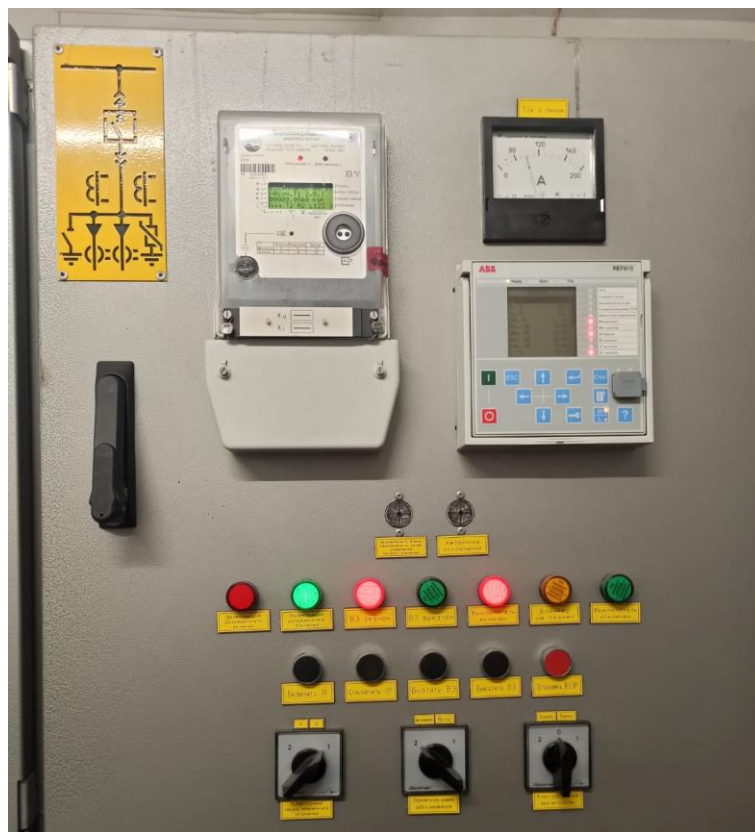


Рисунок 2.15 – Змонтований термінал REF-615 на комірку

Ці варіанти мікропроцесорних терміналів, завдяки існуючим інтерфейсам обміну даними, легко адаптуються в промислові АСДК, що дає змогу контролювати стан, перевіряти справність кожного елемента КРУ 6-10 кВ та бачити всі аварійні події, які відбулись на приєднанні. На рисунку 2.16 зображено приклад існуючої системи АСДК на базі SCADA.

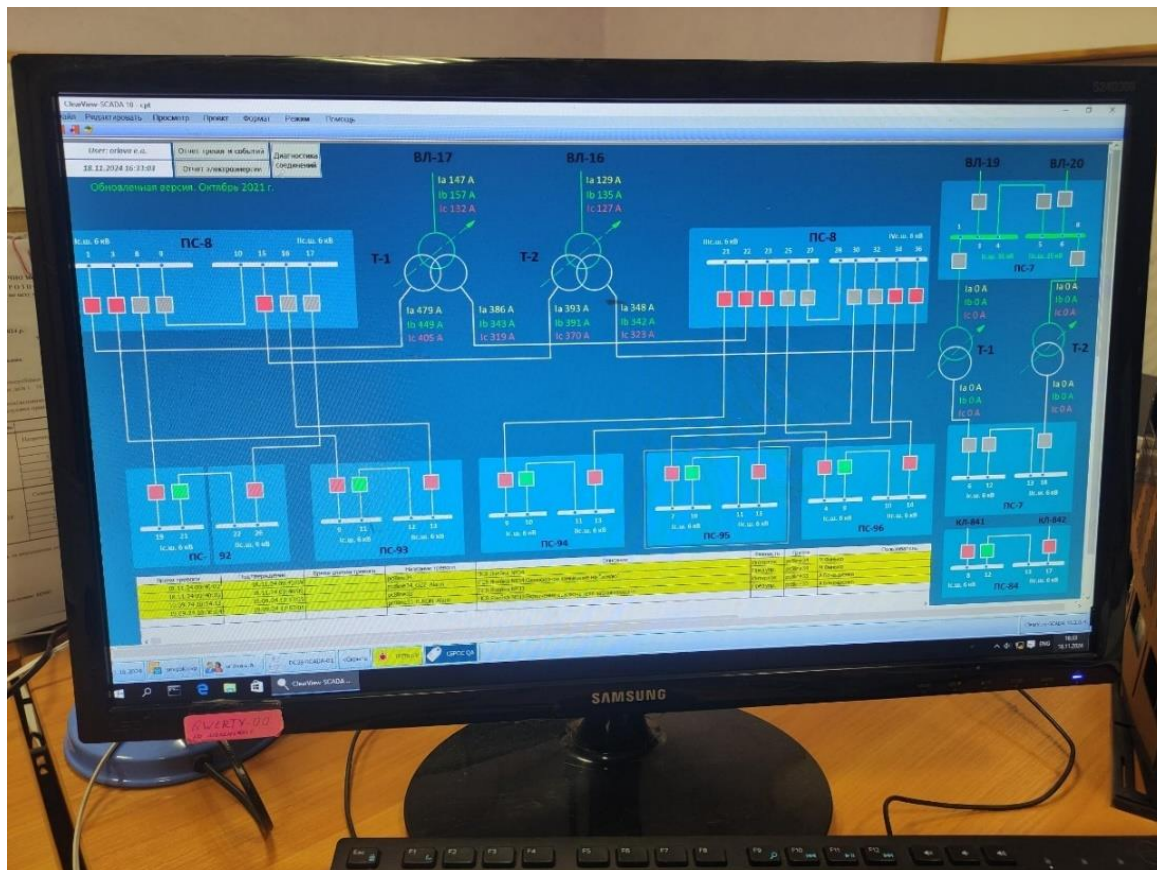


Рисунок 2.16 – Система АСДК підстанції однієї з гілок виробництва

Отже, можна зробити такі висновки, що застарілий тип конструкції, вага комутаційного електрообладнання, а також моральне та технічне старіння призводять до втрати часу на оперативні перемикання. Для виконання заявки на введення в роботу, або виведення в ремонт, за всіма правилами, з веденням оперативної документації та виконанням всіх заходів ПТЕЕС, ПБЕЕС, та діючих положень на комбінаті, чергова підстанції витрачає в середньому 20-25 хвилин, а враховуючи кількість приєднань на підстанціях, об'єми ремонтів та їх необхідність, це прямо впливає на виробничі потужності та об'єми виробництва підприємства.

Придбання сучасного обладнання вимагає вкладання великих коштів та очікування строків виготовлення та поставки обладнання.

Але можливості адаптації, існуючі термінали з підтримкою більшості протоколів обміну даними, та вибір на ринку обладнання, мають величезний потенціал для стрімкого розвитку автоматизації систем енергопостачання промислових підприємств.

2.4 Аналіз ключових параметрів вкочування візка

Для проведення підбору необхідного робочого органу автоматизованого приводу вкочування візка високовольтного вимикача необхідно визначити швидкість вкочування та частоту обертання вала приводу.

Під час вкочування візка вручну, ключем приводу, з положення «контрольне» в положення «робоче» головний вал приводу вкочування, зображений на рисунку 2.17 (вал, встановлений у візку, зображено на рисунку 2.18), має зробити повний оберт. На вал встановлено черв'ячню передачу, черв'як якої має отвір з пазами, в який необхідно вставити ключ ручного вкочування. На лівому кінці вала розміщено планку з роликом, яка має зайти в спеціальні зачепи, розташовані на корпусі комірки КРУ-2-10, які зображено на рисунку 2.19. Коли головний вал приводу приводить планку з роликом в рух по колу – візок в'їжджає чи виїжджає, здійснює рух по направляючим всередині комірки. Обертаючи ключ за годинниковою стрілкою чи проти – візок вкочується та викочується відповідно.

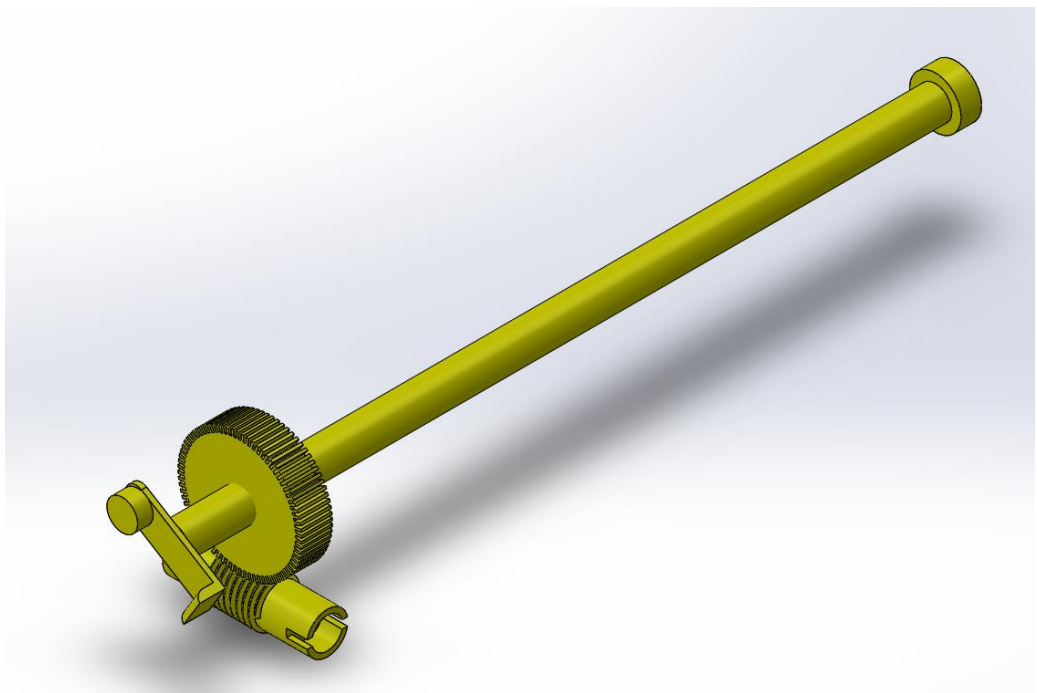


Рисунок 2.17 – Головний вал вкочування візка, змодельований в САПР SolidWorks

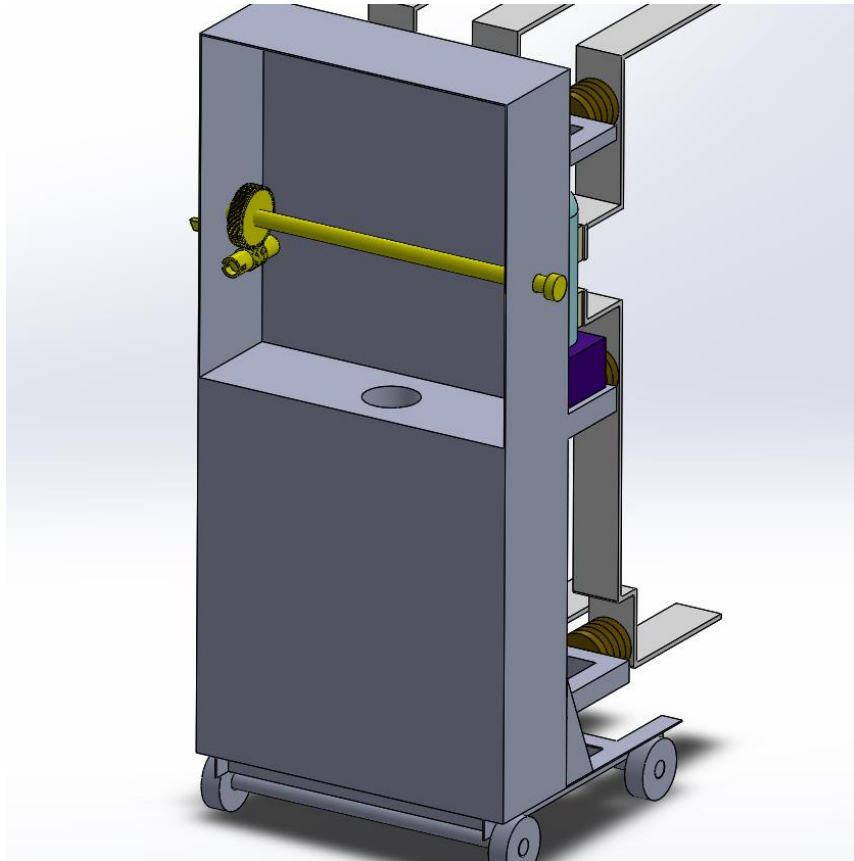


Рисунок 2.18 – Головний вал вкочування візка, змодельований в САПР SolidWorks в корпусі візка вимикача



Рисунок 2.19 – Зовнішній вигляд зачепів планки вала вкочування візка



Під час вкочування візка у робоче положення, так як верхні шинні спуски системи шин підстанції знаходяться під напругою, зважаючи на те, що полюса вимикачів мають свою ємність камер дугогасіння, мають не ідеальну ізоляцію, тому присутній струм витoku по ізоляції, між контактами візка та шинами утворюється електрична дуга. Під час горіння діги мідні рихомі контакти та шинні спуски нагріваються. Цей процес відбувається до моменту заходу рухомих контактів візка в зачіп із шинами підстанції. Повільне вкочування візка призводить до тривалого горіння електричної дуги, як наслідок, до підвищення температури в зоні контакту. Відбувається втрата міцності та пружності рухомих частин, що, в свою чергу, веде до погіршення вжиму контактів між собою, як наслідок – постійний нагрів, деградація та горіння контактів.

Наступним показником, який визначався, це опір перехідного контакту між нерухомими контактами системи шин та рухомими вимикача. Враховуючи, що вкочення візка відбувається вручну, обертаючи ключ вкочення, то і швидкість вкочення буде залежити від конкретного оперативного працівника, який виконує операції з візком вимикача. Тобто параметр частоти обертання головного вала вкочування візка буде відрізнятися кожного разу. Враховуючи силу, з якою рухомі контакти починають розжиматися, та масу вимикача (210 кг масляний та 145 вакуумний), рух візка має велику інерцію, водночас для приведення візка в рухомий стан необхідно прикласти достатньо сили під час першого поштовху. Якість перехідного контакту між вимикачем та системою шин буде залежати від стилю та швидкості вкочування візка. Чим повільніше – тим гірше рухомі контакти розкриваються, що призводить до додаткового супротиву вкочування. Під час швидкого вкочення, завдяки інерції, візок, відбиваючись від контактів, може зміститися з робочого положення, забезпечуючи не якісне прилягання контактних частин.

Тобто існують параметри, які вимагають стабільності та обережності. Людськими силами забезпечити постійність цих показників не можливо. Існує потреба в автоматизації та контролі.

3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма та методика проведення експерименту

Два фактори, температура та опір зони перехідного контакту, змінюються в залежності від швидкості вкочування, попадання рухомими контактами МВ рівно у визначенні місця нерухомих контактів системи шин (визначається перевіркою положення контактів через оглядові вікна комірки) – ці показники є критичними.

Визначимо вплив швидкості вкочування візка вимикача на такі параметри, як температуру та перехідний опір в зоні контакту нерухомих контактів системи шин 6 кВ з рухомими контактами вимикача.

Експериментальне дослідження необхідно розбити на два етапи:

1) на першому етапі визначається температура в зоні контактів кожної фази під час вкочування візка з різними швидкостями в робоче положення на систему шин під напругою 6 кВ – 5 вкочувань та вимірювань з різною частотою обертання вала;

2) на другому етапі визначається перехідний опір в зоні контакту кожної фази під час вкочування візка з різними швидкостями в робоче положення на систему шин зі знятою напругою 6 кВ – 5 вкочувань та вимірювань з різною частотою обертання вала;

Замір температури проводився сертифікованим пристроєм – тепловізором Fluke Tis20+ MAX, зображений на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд тепловізора Fluke Tis20+ MAX

На передній стороні пристрою розташовані такі елементи та основні частини (рисунок 3.2):

- 1) кришка вісунного об'єктива;
- 2) об'єктив тепловізора;
- 3) об'єктив камери видимого діапазона;
- 4) додатковий пусковий гачок;
- 5) основний пусковий гачок;
- 6) літій-іонний акумулятор з індикацією заряду;
- 7) блок живлення;
- 8) зарядний пристрій з двома відсіками.

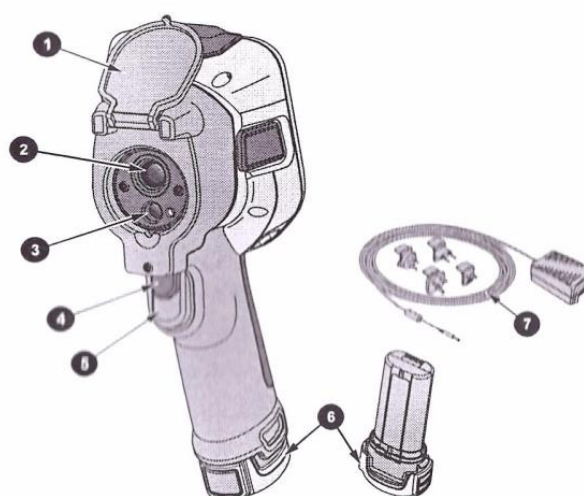


Рисунок 3.2 – Передня сторона пристрою

На задній стороні пристрою розташовані (рисунок 3.3):

- 1) сенсорний дисплей;
- 2) кришка роз'єма;
- 3) USB порт;
- 4) роз'єм для карти пам'яті;
- 5) вхідний роз'єм адаптера змінного струму;
- 6) панель керування;
- 7) фіксатор ремінця для вдягання на руку.

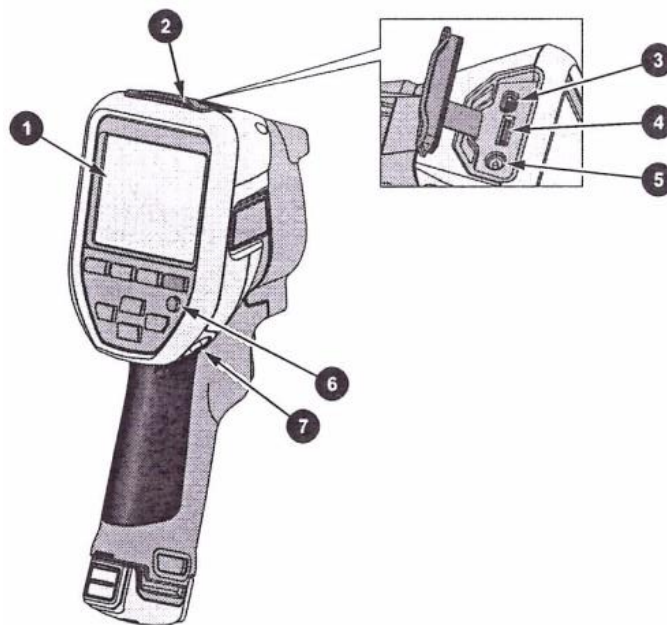


Рисунок 3.3 – Задня сторона пристрою

Тепловізор дає можливість проводити виміри в постійному режимі, періодично проводить калібрування, а також має змогу фіксувати зображення, зберігаючи їх на карті пам'яті або на внутрішній пам'яті у форматі JPEG.. Так як більшість матеріалів, таких як метал, дерево, камінь, вода та ін. випромінюють енергію з достатнім коефіцієнтом випромінення, то тепловізор вимірює температуру з високою точністю. Блискучі поверхні випромінюють енергію з меншим показником випромінення, але в даному приладі є налаштування регулювання коефіцієнта випромінення для блискучих поверхонь.

Для роботи також передбачене підключення до ПК та встановлення ПЗ від виробника Fluke Connect, яке забезпечує аналіз зображень, впорядкування даних та створення звітів. Підключення через кабель передачі даних, або WiFi.

Згідно сертифікату калібрування метрологічного центру, тепловізор має рівень довіри 95%.

Прилад має мінімальні вимоги з обслуговування, після кожного використання необхідно проводити протирання корпусу вологою серветкою зі слабким мильним розчином, а також контроль заряду батареї.

Наступним показником, який визначався, це опір перехідного контакту між нерухомими контактами системи шин та рухомими вимикача. Було вкочено візок з різною частотою та, враховуючи що на експериментальному зразку стан всіх трьох фаз технічно однаковий, було виміряно середній перехідний опір контакту всіх фаз.

Вимір перехідного контакту проводився мікроометром Metrel MI3252, зображеному на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляду мікроометру Metrel MI3252

Мікроомметр Metrel MI 3252 – переносний мікроомметр, який має широкий діапазон вимірювання, забезпечує високу точність вимірювань (похибка складає 0,25% за даними метрологічного центру). Складається з дисплею, кнопок керування, портів для передачі даних на ПК, роз'ємів для вимірювальних щупів. Дозволяє проводити заміри перехідних опорів різьбових з'єднань, спайок, контактів вимикачів, роз'єнувачів. Має два режими: вимір опору в діапазоні, та вимір падіння напруги. Має вбудовану пам'ять та можливість передачі даних на ПК за допомогою комплектного ПЗ від виробника шляхом під'єднання через інтерфейсні кабелі.

3.2 Результати експериментальних досліджень

Було проведено експеримент, під час якого, за різної частоти обертання вала привода вкочування, вимірювалась температура нагрівання контактів через оглядове вікно. Результати експерименту вказано в таблиці 3.1, залежність зображено на графіку (рисунок 3.5).

Таблиця 3.1 – вплив частоти обертання вала на нагрів контактів

№	Частота обертання вала, с^{-1}	Температура, $^{\circ}\text{C}$
1	0,75	20
2	0,5	28
3	0,33	31,4
4	0,25	38,6
5	0,16	51,2

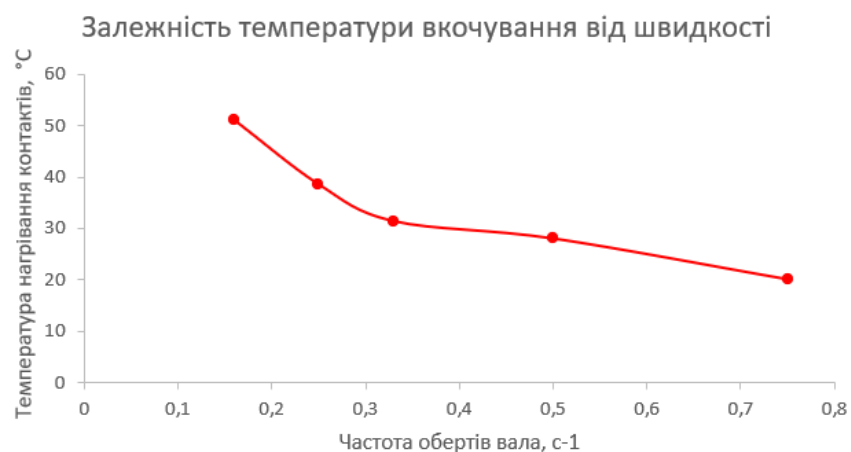


Рисунок 3.5 – Залежність температури контактів від швидкості вкочування візка МВ

Опір перехідного контакту проводився з такою самою частотою обертання вала під час вкочення візка вимикача. Результати вказано в таблиці 3.2, залежність зображено на графіку (рисунок 3.6).

Таблиця 3.2 – вплив частоти обертання вала на опір контакту

№	Частота обертання вала, с ⁻¹	Перехідний контакт, мкОм
1	0,75	8
2	0,5	6
3	0,33	10
4	0,25	11
5	0,16	15

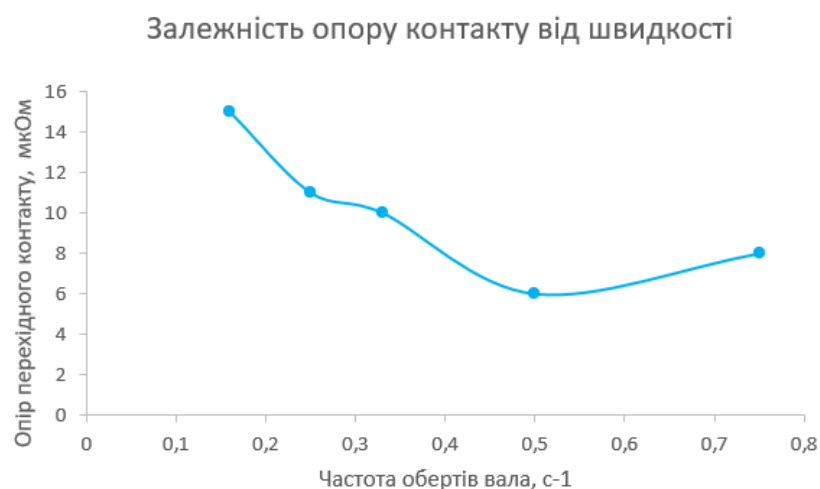


Рисунок 3.6 – Залежність опору перехідного контакту контактів від швидкості вкочування візка МВ



Враховуючи отримані дані, можна зробити висновки, що, хоча зміни не значні, але тенденція до збільшення нагрівання контакту та опору перехідного контакту в місці з'єднання при більш повільному вкочуванні росте, найбільш оптимальною частотою обертання вала приводу складає $0,5 \text{ с}^{-1}$, що видно з графіків побудованих залежностей (рисунок 3.5, рисунок 3.6).

3.3 Математичні розрахунки приводу, механічних властивостей

Для модернізації комірки високовольтної пропонується обрати механізм вкочування на базі електричного двигуна з черв'ячним редуктором в заводському виконанні. Для зниження обертів редуктора та збільшення крутного моменту використаємо пасову передачу з двома шківками, діаметри яких необхідно розрахувати.

З огляду на конструкцію механізму вкочування, та вагу експериментального зразка, з яким проводились заміри параметрів, – візок масляного вимикача, маємо такі ввідні дані: Вага візка МВ (тягове зусилля приводу) $P_{\text{МВ}} = 149,5 \text{ кг}$, довжина робочого важіля механізму вкочування $D = 90 \text{ мм}$.

Знайдемо колову швидкість обертання важіля механізму вкочування

$$V_{\text{в}} = \frac{\pi \times R}{T}, \quad (3.1)$$

де $V_{\text{в}}$ – колова швидкість валу, м/с;

R – радіус руху обертання механізму вкочування, мм;

T – період обертання вала.

Використовуючи формулу 3.1 отримаємо:

$$V_{\text{в}} = \frac{3,14 \times 90 \times 10^{-3}}{0,5 \times 2} = 282,6 \times 10^{-3} \text{ м/с}$$

Маючи всі необхідні параметри, визначимо потужність приводного двигуна:

$$N_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{МВ}} \times V_{\text{в}}}{102 \times \eta_{\text{дв}}}, \quad (3.2)$$

де $\eta_{\text{дв}}$ – ККД двигуна, оберемо значення 0,9, тоді, використовуючи формулу 3.2, маємо:

$$N_{\text{дв}} = \frac{149,5 \times 0,283}{102 \times 0,9} = 0,46 \text{ кВт}$$

Визначимо частоту обертання робочого органа приводу, маючи параметр вихідної частоти обертання на валу, використовуючи формулу 3.3.

$$n_{\text{дв}} = n_{\text{в}} \times i_1 \times i_2 \times i_3 \dots i_n, \quad (3.3)$$

де $n_{\text{в}}$ – частота обертів вихідного вала, хв^{-1} ; i_1, i_2, i_n – передаточні числа окремих передач, в нашому випадку передача зубчаста в редукторі $i_1 = 3$, плоскопасова $i_2 = 2$. Використовуючи формулу 3.3, маємо:

$$n_{\text{дв}} = 30 \times 3 \times 2 = 180 \text{ хв}^{-1}$$

На цьому етапі вже можна підібрати двигун для майбутнього приводу вкочення. Маємо параметри: $N_{\text{дв}} = 0,46 \text{ кВт}$, $n_0 = 180 \text{ хв}^{-1}$. Так як кола оперативного керування підстанції живляться, від акумуляторних батарей 220В постійного струму, то не важко організувати шини будь-якого номіналу, для живлення кіл керування двигуном.

Пропонується варіант мотор-редуктора ЕСМ600/040U15 з параметрами, наведеними в таблиці 3.3, зовнішній вигляд та розміри вказані на рисунках 3.7, 3.8.

Таблиця 3.3 – Параметри мотор-редуктора ЕСМ250/030U10

№	Параметр	Значення
1	Потужність, Вт	600
2	Напруга живлення, В	Постійний струм 24В
3	Частота обертів двигуна $n_{\text{дв}}$, хв^{-1}	3000
4	Частота обертів на виході редуктора, хв^{-1}	200
5	Передавальне число	5-15
6	Обертальний момент на валу, Нм	11-32
7	ККД редуктора	0,8
8	Тип редуктора	Черв'ячний

ECM600/040 U

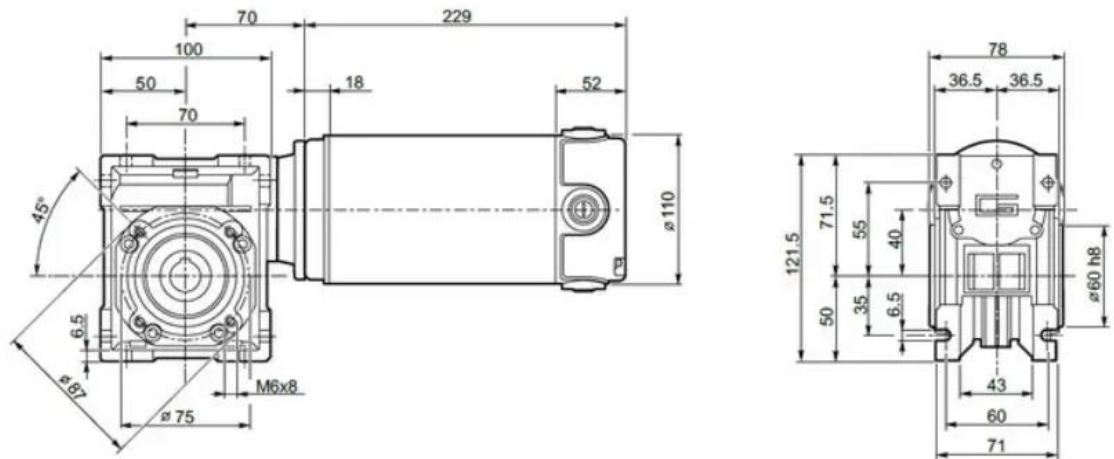


Рисунок 3.7 – Габарити обраного мотор-редуктора



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд мотор-редуктора ECM250/030U10

Визначимо загальне передавальне число мотор-редуктора – валу привода вкочування, маючи всі необхідні вихідні параметри майбутнього привода.

$$i_{\text{заг}} = \frac{n_0}{n_B} \quad (3.4)$$

Використовуючи формулу 3.4, маємо:

$$i_{\text{заг}} = \frac{200}{30} = 6,6$$

Визначаємо діаметри меншого та більшого шківів плоскопасової передачі. Отримані значення D_1 і D_2 округлимо згідно з рекомендованим рядом діаметрів, мм: 50; 63; 80; 90; 100; 112; 125; 140; 160; 180; 200; 225; 250; 280; 320; 360; 400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1250.



Діаметр меншого шківa визначимо за формулою 3.5.

$$D_1 = (11,00 \dots 13,00) \times \sqrt[3]{N_{\text{дв}} \times n_0} \quad (3.5)$$

$$D_1 = 11,00 \times \sqrt[3]{0,6 \times 200} = 11 \times 4,9 = 53,9 \text{ мм}$$

Із наближених стандартних значень обираємо діаметр меншого шківa рівним 50 мм.

Визначимо діаметр більшого шківa за формулою 3.6.

$$D_2 = D_1 \times i_1 \times (1 - \varepsilon), \quad (3.6)$$

де: i_1 - передаточне число плоскопасової передачі; ε - коефіцієнт, який враховує відносне ковзання паса (для прогумованих і текстильних пасів $\varepsilon=0,01$).

Використовуючи формулу для розрахунку, отримаємо:

$$D_2 = 50 \times 3 \times 0,99 = 148,5 \text{ мм}$$

Із наближених стандартних значень обираємо діаметр меншого шківa рівним 140 мм.

Визначаємо загальний коефіцієнт корисної дії привода за формулою 3.7.

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3^3, \quad (3.7)$$

де η_1 - ккд редуктора, що становить 0,8; η_2 - ккд черв'ячної передачі, що в проміжках від 0,7 до 0,85 (обираємо 0,8); η_3 - ккд підшипникових вузлів, що в нашому випадку становить 0,99. Тоді маємо:

$$\eta_{\text{заг}} = 0,8 \times 0,8 \times 0,99^3 = 0,63$$

Визначимо загальне передатне число всієї системи за формулою 3.8.

$$I_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{вих}}}, \quad (3.8)$$

де $n_{\text{дв}}$ – частота обертів на валу двигуна, $n_{\text{вих}}$ – частота обертів на вихідному малу системи.

$$I_{\text{заг}} = \frac{3000}{30} = 100$$



Загальне передавальне число розподіляємо по елементах привода, що складається з передавального числа редуктора та пасової передачі. Маючи передавальне число системи мотор-редуктора ЕСМ250/030U10, отримуємо вираз 3.9:

$$I_2 = \frac{I_{\text{заг}}}{I_1} = \frac{100}{15} = 6,6 \quad (3.9)$$

Маючи частоту обертів кожного вала нашої системи, а саме: двигуна $n_{\text{дв}} = 3000 \text{ хв}^{-1}$; редуктора $n_0 = 200 \text{ хв}^{-1}$; вала механізму вкочування $n_{\text{в}} = 30 \text{ хв}^{-1}$, розрахуємо кутові швидкості на кожному з валів. За формулою 3.10 визначимо, що:

$$\omega_1 = \frac{\pi \times n_{\text{дв}}}{30} \quad (3.10)$$

$$\omega_1 = \frac{3,14 \times 3000}{30} = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

За формулою 3.11 визначимо кутову швидкість на вихідному валу системи мотор-редуктора:

$$\omega_2 = \frac{\pi \times n_0}{30} \quad (3.11)$$

$$\omega_2 = \frac{3,14 \times 200}{30} = 20,9 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

За формулою 3.12 визначимо кутову швидкість на вихідному валу механізму вкочування:

$$\omega_3 = \frac{\pi \times n_{\text{в}}}{30} \quad (3.12)$$

$$\omega_3 = \frac{3,14 \times 30}{30} = 3,14 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Визначимо крутні моменти кожного з валів. За формулою 3.13 визначимо, що крутний момент на валу двигуна:

$$T_1 = \frac{N_{\text{дв}}}{\omega_1} = \frac{0,6 \times 1000}{314} = 1,91 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.13)$$

За формулою 3.14 визначимо, що крутний момент на валу редуктора:

$$T_2 = T_1 \times I_1 \times \eta_1 = 1,91 \times 15 \times 0,8 = 22,92 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.14)$$

За формулою 3.15 визначимо, що крутний момент на валу механізму вкочування:

$$T_3 = T_1 \times I_{\text{заг}} \times \eta_{\text{заг}} = 1,91 \times 100 \times 0,63 = 120,3 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.15)$$

Залежність кутової швидкості від обертаючого момента вала показано на рисунку 3.9.

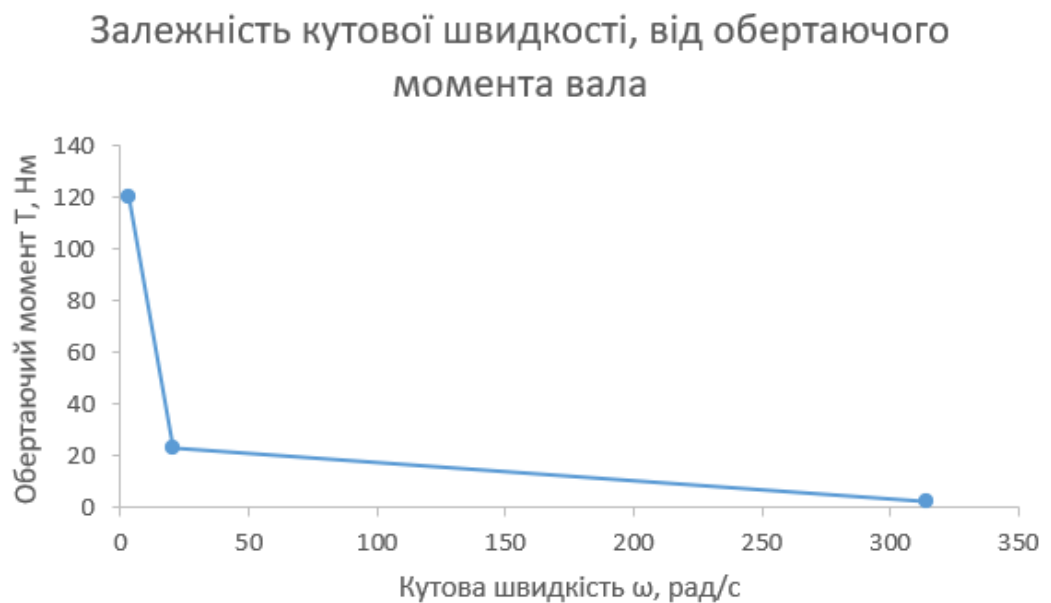


Рисунок 3.9 – Механічна характеристика привода

Тобто можна зробити такі висновки, що для механізму вкочування візка масляного вимикача оптимальна частота обертів вала вкочування – $T = 0,5 \text{ хв}^{-1}$, оптимальна швидкість при цьому становить $0,3 \text{ м/с}$. Враховуючи вагу масляного вимикача, мінімальна потужність двигуна повинна становити $0,46 \text{ кВт}$. Було обрано варіант мотор-редуктора ЕСМ250/030U10 та розраховано пасову передачу до нього. Пасова передача має два шків, діаметри яких, із розрахунків та приближених стандартних значень, вийшли: меншого шків $D_1 = 50 \text{ мм}$, більшого $D_2 = 140 \text{ мм}$. Біло розраховано механічні характеристики системи. Швидкість обертання вихідного вала пропорційна коефіцієнту передачі. Крутний момент збільшується зі зменшенням частоти та швидкості обертання вала.

3.4 Моделювання привода вкочування візка вимикача в САПР SolidWorks

В програмному середовищі САПР SolidWorks було змодельовано вакуумний вимикач комірки КРУ-2-10, який точний за розмірами та близький за параметрами до реальних. Так як у вакуумних вимикачів привод встановлено поруч з вакуумними камерами, то у приводних

відсіках, для простоти демонстрації, було залишено тільки вал вкочування візка, який показано жовтим кольором. Зовнішній вигляд моделі зображено на рисунку 3.10.

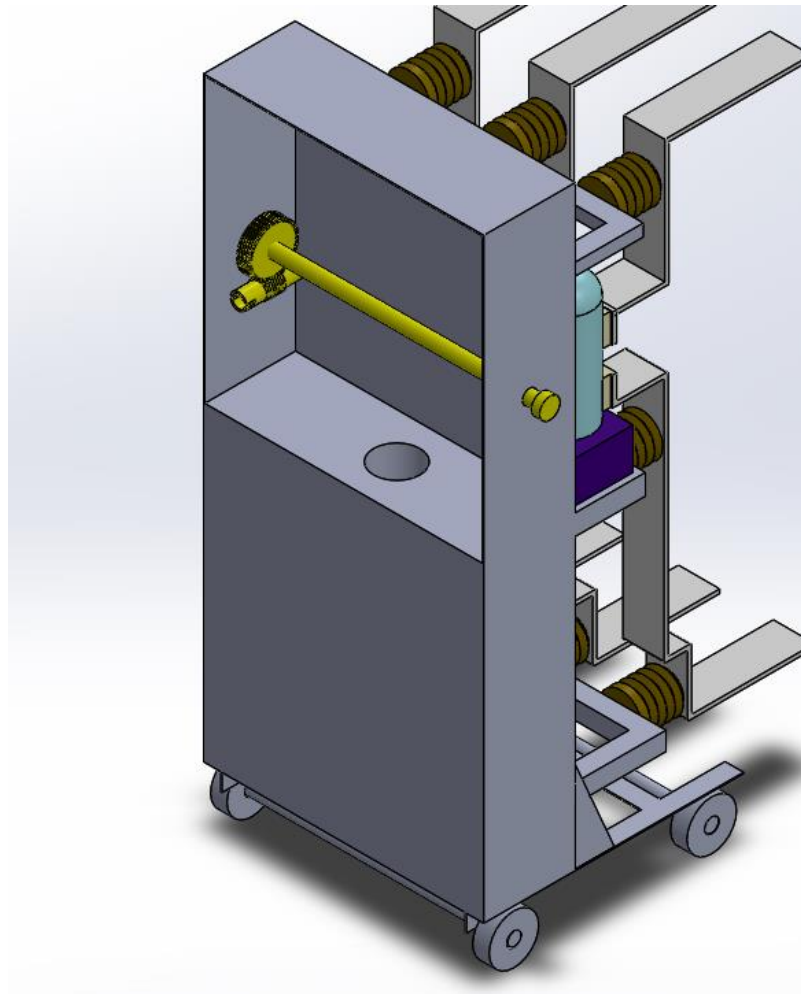


Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд моделі візка вимикача зі стандартною компоновкою привода вкочування

Після створення реальної моделі, було побудовано пасовий привід з двома шківами (показано червоним кольором) та мотор-редуктором, який розраховано в підрозділі 3.2. В режимі «збірка» було зкомпановано всі деталі, шківи з'єднані елементом «ремінь/ланцюг» та отримано прототип моделі візка вимикача із електричним приводом вкочення, зображено на рисунку 3.11 вид зпереду, рисунку 3.12 вид збоку.

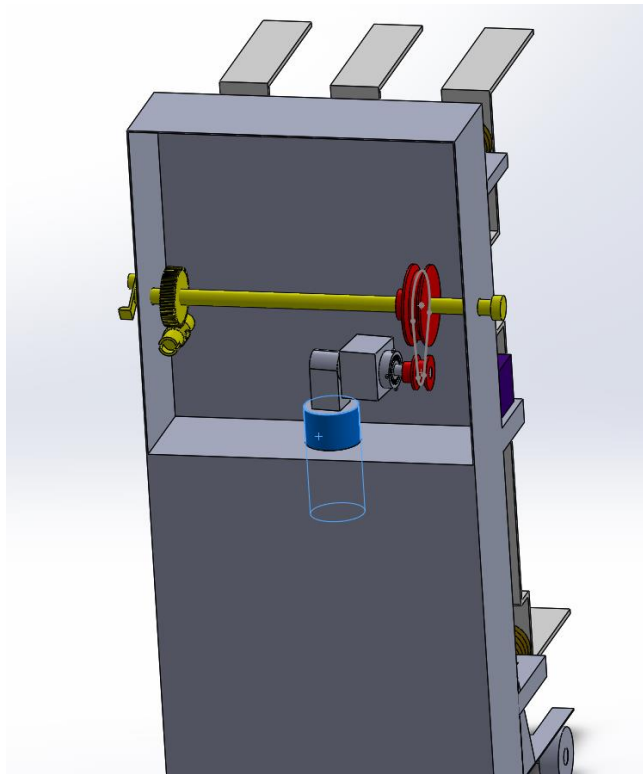


Рисунок 3.11 – Модель візка вимикача з модернізованим приводом
вид зпереду

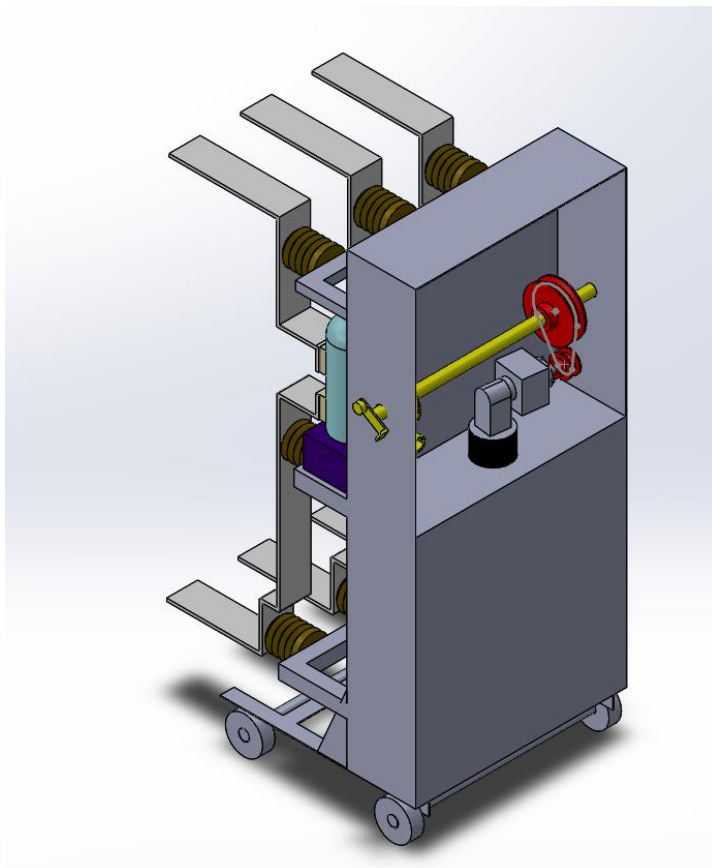


Рисунок 3.12 – Модель візка вимикача з модернізованим приводом
вид збоку



Основним елементом привода виступає мотор-редуктор ЕСМ250/030U10 зі встановленим на вихідний вал шківа діаметром 50 мм. Через пасову передачу менший шків мотор-редуктора приводить в рух більший шків, встановлений на головний вал привода вкочення візка, діаметр більшого шківа 140 мм.

Механізм ручного вкочування, механічні блокування, які встановлені виробником, залишаються не змінним. Це дає можливість, в разі виходу з ладу якогось вузла, чи самого мотор-редуктора, в ручному режимі продовжувати експлуатацію комутаційного апарату до моменту виводу обладнання в ремонт, без порушення виробничих процесів та без виникнення вимушених простоїв виробництва.



4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

4.1 Економічні втрати на прикладі існуючого підприємства

Розглянемо сценарій можливих економічних втрат, на прикладі одного з промислових виробництв.

ГЗК, в переважності своєї діяльності, займається добуванням та переробкою залізних руд, то, на сьогодні, основним продуктом виробництва є концентрат. Основні потужності виробництва покладено на рудозбагачувальну фабрику РЗФ-1.

На РЗФ-1 в роботі 2 черги млинів, які живлять 17 підстанцій 6 кВ. На дві черги в зміні два електромонтери з обслуговуванню підстанцій. Враховуючи кількість обладнання, масштаби фабрики та її розміри, фізичні можливості людини та середній час, витрачений на пересування за маршрутами між підстанціями, а також на виконання оперативних перемикань, дотримуючись ПТЕЕС, ПБЕЕС, діючих положень з ОП та ПБ на комбінаті, на прикладі потужностей 18-ї секції млинів, визначимо втрати виробництва Δ за формулою 4.1:

$$\Delta = Q \times S \times T \times t, \quad (4.1)$$

де Q – об'єми виробництва товарного концентрату 18-ї секції млинів фабрики РЗФ-1 в годину (84 т в середньому за вересень 2024); S – вартість (маржа) тони концентрату станом на 2024 рік (34,15 \$/т); T – середній час на виконання оперативних перемикань персоналом (20хв); t – середній час на переміщення між підстанціями персоналом (10 хв).

В результаті виразу 4.2 отримаємо, що:

$$\Delta = 84 \frac{\text{т}}{\text{год}} \times 34,15 \$ \times (10 \text{ хв} + 20 \text{ хв}) = 1\,434,3 \$/\text{годину} \quad (4.2)$$

Тобто, на одне оперативне перемикання (збір чи розбір схеми приєднання) припадають втрати виробництва в розмірі 1434,3 доларів. Для збору схеми в роботу обладнання після закінчення регламентних робіт, приймаємо одні й ті самі втрати. Тобто сума подвоюється для виконання виводу в ремонт та вводу в роботу одного приєднання.

В середньому по одній черзі фабрики чергова ПС в зміну виконує 7-9 заявок по виведенню чи введенню в ремонт електрообладнання.

Тоді маємо інтервали втрат згідно виразів 4.3 – 4.4:

$$\Delta_{1 \text{ за зміну}} = 1\,434,3 \times 2 \times 7 = 20,08 \text{ тис. дол. на зміну} \quad (4.3)$$

$$\Delta_{2 \text{ за зміну}} = 1\,434,3 \times 2 \times 9 = 25,8 \text{ тис. дол. на зміну} \quad (4.4)$$



Розрахуємо витрати річні за виразами 4.5-4.6:

$$\Delta_1 \text{ рік} = \Delta_1 \text{ за зміну} \times 2 \text{ зміни на добу} \times 365 \text{ діб} = 14,658 \text{ млн. дол. на рік} \quad (4.5)$$

$$\Delta_2 \text{ рік} = \Delta_2 \text{ за зміну} \times 2 \text{ зміни на добу} \times 365 \text{ діб} = 18,854 \text{ млн. дол. на рік} \quad (4.6)$$

4.2 Витрати на модернізацію

За цінами 2024 року, на виробництві енергетичного обладнання України, існують варіанти для придбання комірок високовольтних КРУ-2-10 з візком вакуумного вимикача. Візок має привід електричного вкочування та викочування, що керується дистанційно. Приблизна вартість складає 1,1 млн грн для варіанта КРУ-2-10. Приблизний строк поставки 45 діб з моменту внесення передплати.

Розрахуємо приблизну вартість на модернізацію одного викатного елемента комірки КРУ-2-10, якщо роботи виконуватимуться силами підприємства господарчим способом та використовуючи розраховані складові та запчастини.

Вартість обраного мотор-редуктора ЕСМ250/030U10 складає 14,95 тис. грн. Виготовлення двох шківів токарем на виробництві, згідно калькуляції провідного економіста складе 1,95 тис грн за пару. Монтаж електрослюсарями вартуватиме виробництву 3,44 тис грн. Наладка системи, розробка схеми та адаптація в мікропроцесорний прилад релейного захисту та автоматизації, якщо такий вже встановлено – вартуватиме 9,34 тис грн.

Загальна сума на одне приєднання складатиме: 29,68 тис. грн, що складає приблизно 0,7 тис. доларів.

Приблизна вартість розробки проєктної документації складе 108 тис. дол. за всі приєднання.

Приблизна вартість інтеграції в систему керування диспетчером ЦМП складе 1,5 млн грн, що приблизно 35,8 тис. доларів

Кількість приєднань РЗФ-1, які впливають на технологічний процес складає:

- 65 приєднань млинів (секції);
- 56 КТП 6/0,4 кВ;
- 8 насосів відкачування відпрацьованої води;
- 20 вакуум насосів.

Загальна кількість складає 149 комірок з візками вимикачів. Загальна сума, яку необхідно вкласти на модернізацію всіх приєднань складе 4 422,32 тис. грн або 104,3 тис. доларів.

Додамо вартість розробки проєктної документації і отримаємо загальні витрати 248,1 тис. доларів.



4.3 Розрахунок економічного ефекту

Орієнтовний час реалізації проекту складатиме приблизно 2 роки: монтаж приводу, його наладка, розробка проєктної документації на 149 приєднань.

За рік РЗФ-1 згідно оперативного плану отримує продукції 221715,69 тис. доларів.

Інвестиційні кошти ІК складають 248,1 тис. доларів. Визначимо загальний грошовий потік за три роки, використовуючи формулу 4.7

$$ГП = E_{гр} * n, \quad (4.7)$$

де ГП – грошовий потік, $E_{гр}$ – потік річний, n – кількість років реалізації. В результаті маємо:

$$ГП = 221715,69 * 2 = 443\,431,38 \text{ тис. доларів}$$

Визначимо чисту поточну вартість NPV проєкту, використовуючи формулу 4.8

$$NPV = ГП - ІК \quad (4.8)$$

В результаті отримаємо:

$$NPV = 443431,38 - 248,1 = 443138,28 \text{ тис. доларів}$$

Розрахуємо індекс прибутковості проєкту IP, використовуючи для цього формулу 4.9.

$$IP = \frac{ГП}{ІК} \quad (4.9)$$

В результаті отримаємо індекс прибутковості:

$$IP = \frac{443\,138,28}{248,1} = 1787,3$$

Розрахуємо період окупності PP, використовуючи для цього формулу 4.10.

$$PP = \frac{ІК}{ГП/n} \quad (4.10)$$



В результаті отримаємо період окупності:

$$PP = \frac{248,1}{443\,138,28/2} = 0,0011 \text{ років,}$$

Що приблизно становить 0,5 доби роботи фабрики РЗФ-2 на повну завантаженість.

З розрахунків можна зробити висновок, що реалізація даного проекту доцільна, так як маємо позитивний показник чистої поточної вартості, а також період окупності менший за період реалізації за проектом.



5 ОХОРОНА ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ

5.1 Електробезпека

Під час роботи в електроустановках, після проходження інструктажу, отримання ЗІЗ та всіх необхідних інструкцій, навчання за професією та отримання фаху, працівники дотримуються загальних вимог інструкцій та положень з ОП та ПБ та вимог діючих положень на комбінаті.

До роботи на об'єкти з підвищеною небезпекою допускається особа, яка пройшла медичний огляд, спеціальне навчання в об'ємі передбаченому програмою практики і перевірку знань в кваліфікаційній комісії, яка пройшла вступний, первинний і цільовий інструктаж з електробезпеки. Ознайомлено з положенням з охорони праці на підприємстві під підпис та з «Реєстром небезпек і ризиків для працівників в електроустановках», положенням про «Безпечний робочий простір» з ознайомленням з всіма небезпечними факторами та чинниками, які в реєстрі робочих просторів [3].

Для доступу на електропідстанції ЦМП необхідно:

знати та виконувати вимоги нормативних актів з охорони праці, «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів», «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», «Правил експлуатації електрозахисних засобів», правила користування устаткуванням і іншими засобами виробництва; уміти користуватися засобами колективного і індивідуального захисту;

дотримуватись обов'язків з охорони праці, передбачених колективним договором (угодою, трудовим договором) та правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства, загальними вимогами з охорони праці для працівників комбінату;

проходити в установленому порядку періодичний медогляд;

знати та виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці і пожежної безпеки, а саме даної інструкції, карт безпеці праці, Закону України «Про охороні праці», «Правил охорони праці при роботі з інструментами і пристосуваннями», «Правил пожежної безпеки в Україні», «Загальних вимог з охорони праці для», «Положення про порядок видачі нарядів на виробництво робіт, «Положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, «Системи менеджменту професійного здоров'я і безпеки згідно з вимогами міжнародного стандарту ISO 45001:2018» «Політики в області охорони праці і здоров'я, пам'ятки про АБВР, «Інструкції про передачу інформації про нещасні випадки на виробництві»,

«Інструкції по безпечному перевезенню працівників ЦМП до місця роботи», схеми маршрутів пересування, кардинальних правил по ОТ і ПБ, регламенту забезпечення працівників спецодягом, спецвзуттям і іншими засобами індивідуального захисту, корпоративних стандартів і ін.

5.2 Усунення основної небезпеки

Розглянемо небезпеки, які вирішуються після впровадження модернізації комірки високовольтної КРУ-2-10, а саме візка вимикача згідно ієрархії небезпечних факторів.

Згідно умов та обов'язків праці черговим електромонтером підстанції, як працівником, який експлуатує комутаційні апарати діючої електроустановки, під час виконання збирання та розбирання електричних схем приєднань, існує ризик ураження електричним струмом внаслідок помилкових дії, незадовільного технічного стану високовольтного вимикача, незадовільного технічного стану комірки КРУ-2-10 та її рухомих частин та механізмів [9].

Також існує ризик вкочення та вмикання комутаційного апарату на пошкоджене приєднання, оскільки масляні та вакуумні вимикачі, в переважній більшості, керуються та вмикаються чи вимикаються ручним способом.

Розглянемо піраміду ієрархічних заходів керування ризиками (рисунок 5.1).

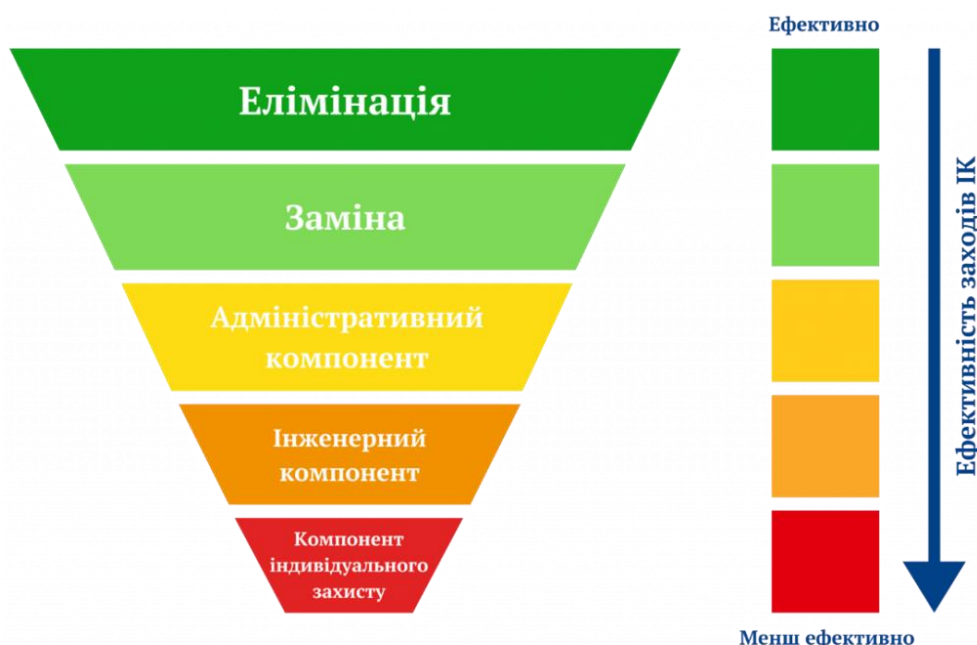


Рисунок 5.1 – Ієрархія заходів контролю ризиків

Під час роботи в електроустановках, працівники використовують засоби індивідуального та колективного захисту до та понад 1000В. Ця



міра контролю ризиків розміщена в самій нижній ланці ієрархічної піраміди, що свідчить про не ефективність та недостатній контроль за ризиками [4].

Основні небезпечні фактори на робочому просторі електроустановок наведено в прикладі Додаток Б.

Окремі вимоги необхідно зазначити і під час експлуатації електричного приводу механізму вкочування візка вимикача, який розраховано та змодельовано вище.

Основні рекомендації:

- привід з вимикачем має лише вертикальне положення;
- мотор-редуктор встановлюється у вертикальному положенні;
- шків встановлюється паралельно, в одній площині;
- корпус мотор-редуктора не розбирати, не встромляти сторонні предмети;
- в разі виникнення сторонніх звуків, запахів диму не експлуатувати електричний привід, перейти на керування механічним приводом;
- проводити ТО, ПР згідно вимог виробника мотор-редуктора (раз на три роки);
- під час ТО, ПР використовувати ЗІЗ, ЗІЗ органів зору;
- перед увімкненням команди на вкочення візка переконатись у відключеному положенні вимикача;
- перед увімкненням команди на вкочення чи викочення переконатись у наявності напруги живлення ланцюгів оперативного керування;
- проводити обслуговування електричного привода дозволяється тільки після проходження навчання, маючи необхідну кваліфікацію та ознайомившись зі схемою та принципом дії.

Отже, впровадивши модернізацію високовольтної комірки КРУ-2-10 згідно рекомендацій та розрахунків кваліфікаційної роботи контроль за ризиками переміщується на саму верхню ланку ієрархії, так як, система дозволить керувати високовольтним вимикачем віддалено, дистанційно, що забезпечить максимальне усунення небезпечних факторів від людини. Також в разі виникнення нештатної ситуації та відмовою в роботі електричного привода – існує можливість керування візком вимикача механічним способом, передбаченим заводом виробником.



ВИСНОВКИ

Під час розробки кваліфікаційної роботи на підприємстві гірничодобувної галузі, було виявлено проблему, яка призводить до значних економічних втрат а також становить небезпеку для працівників, які експлуатують електрообладнання фабрик та кар'єрів, і для оточуючих.

Для вирішення цієї проблеми було запропоновано впровадити модернізацію комірки високовольтної КРУ-2-10 комплектного розподільчого пристрою 6 кВ, а саме візка вимикача. Ця модернізація дозволить працівникам керувати віддалено небезпечним електрообладнанням, подальше впровадження та розробка системи автоматизованої перевірки всіх органів та апаратів комірки КРУ-2-10 дозволить уникнути помилкових дій працівників.

Одним із варіантів реалізації – монтаж на привод вкочування та викочування передавальної пасової передачі зі шківками: менший діаметром 50 мм, більший діаметром 140 мм, робочим органом цієї системи буде мотор-редуктор ЕСМ250/030U10 з частотою на вихідному валу редуктора 200 хв^{-1} , потужність двигуна 600Вт, що задовольняє розрахункові параметри.

Впровадження системи автоматизованого вкочування та викочування візка вимикача високовольтного дозволить вирішити проблему довготривалих простоїв під час оперативних переговорів між задіяним електро-технічним персоналом, довготривалим переміщенням працівників між робочими місцями для виконання оперативних перемикачів.

Отже, під час розробки кваліфікаційної роботи, було виявлено проблему, яка призводить до значних економічних втрат та до значних небезпек на підприємстві для працівників.

Високовольтне електрообладнання, як правило, стоїть на самому початку процесу працездатності технологічних пристроїв та агрегатів, і, як наслідок, будь-які зміни у продуктивності можуть стати початком ланцюгової реакції для наступних технологічних процесів.

Інвестиційний капітал в порівнянні зі збитковістю, яку забезпечують застарілі технології, складає не значну частину від всього обсягу виробництва. На прикладі фабрики ГЗК РЗФ-1 було виявлено, що період окупності складає всього 0,5 доби роботи фабрики на повну завантаженість.



СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лут М. Т., Мірошник О. В., Трунова І. М. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК : підручник. Харків : видавництво «Факт», 2008. 438 с.
2. Лут М. Т., Наливайко В. А., Радько І. П. Діагностування енергетичного обладнання : підручник. Київ: видавництво «Аграр Медіа Груп», 2014. 590 с.
3. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж правила : Наказ м-ва палива та енергетики України від 13.06.2003 № 296.
4. Сікорський О. Г., Левченко С. П., Денисюк С. П. Електробезпека в енергетиці: навч. посіб. Київ : видавництво «ФОП Піча Ю.В.», 2022. 278 с.
5. Пристрій захисту MRZS. Промавтоматика. *Промавтоматика*: веб-сайт URL: <https://rza.promav.com/product/zahist-vvodu-i-vidhidnih-linij/mrzs-f3/> (дата звернення 29.11.2024).
6. Офіційний імпортер ABB (АББ) в Україні – VOLTLINE: веб-сайт URL: <https://voltline.ua/> (дата звернення: 21.11.2024).
7. Головка Д. Б., Рєго К. Г., Скрипник Ю. О. Автоматика і автоматизація технологічних процесів : підручник. Київ: видавництво «Либідь», 1997. 326 с.
8. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.: наказ Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 № 15.
9. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ДНАОП 0.00-1.21-98) : Наказ Міністерства пр. та соц. політики України від 09.01.1998 № 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text> (дата звернення: 02.12.2024).
10. Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 № 258 : станом на 21 лют. 2017 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text> (дата звернення: 02.12.2024).

ДОДАТОК А ОДНОЛІНІЙНА СХЕМА ПІДСТАНЦІЇ

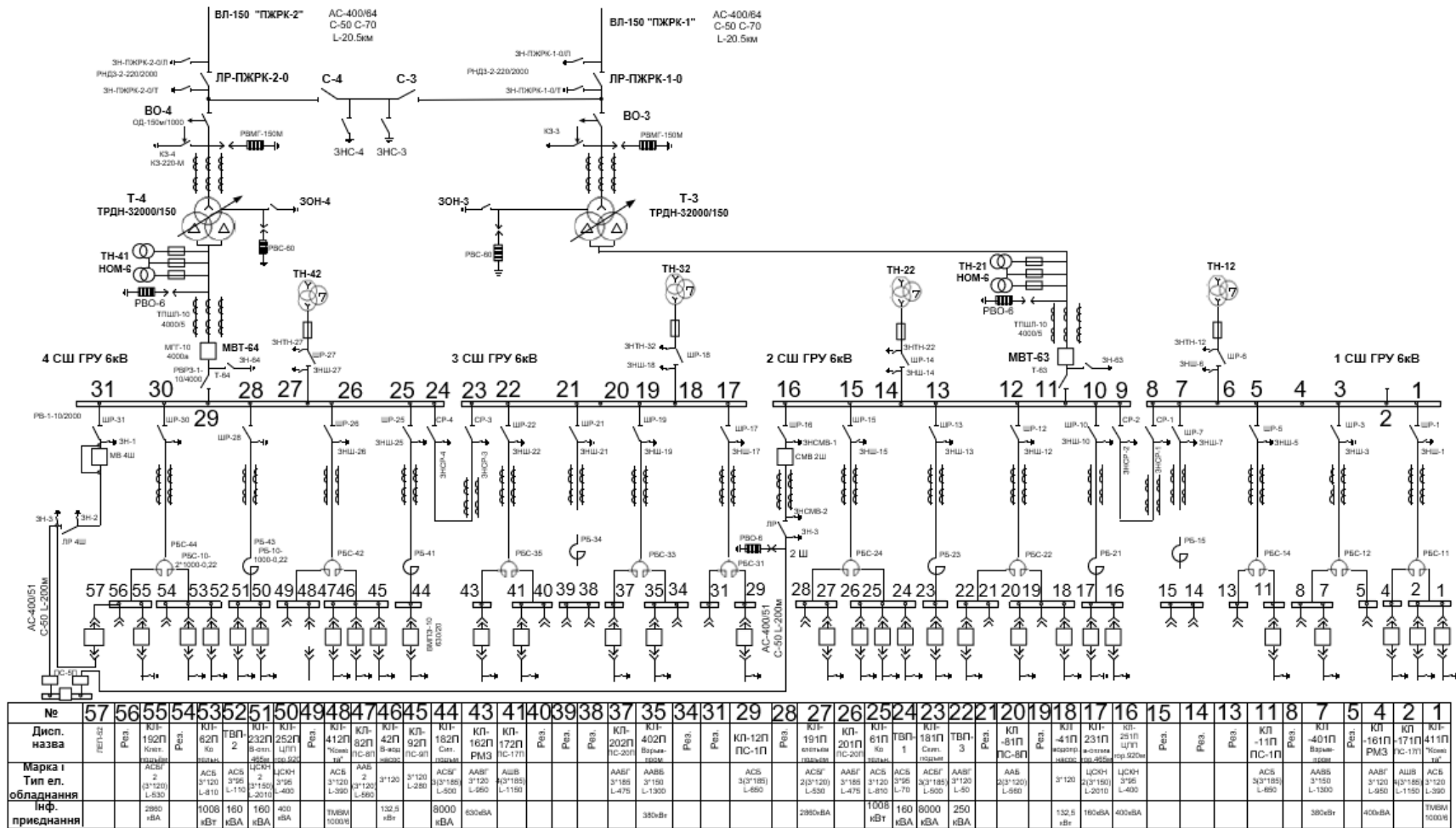


Рисунок А.1 – Однолінійна схема типової підстанції 154/6 кВ

ДОДАТОК Б КАРТА НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ

Карта БРП

ГПП ПЖРК, ГРУ-6кВ



METINVESTHOLDING.COM



3



-небезпечні фактори, загальні для простору

Рисунок Б.1 – Робочий простір підстанції. Небезпечні фактори