



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

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Артем РУХЛОВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Інжиніринг електропостачання та електромеханічних систем у металургії
та гірництві»
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка (G3 Електрична інженерія)
**на тему «Розробка заходів щодо підвищення ефективності роботи
підстанції 6/0,4 кВ цеху ремонту електрообладнання»**

Керівник роботи

Артем РУХЛОВ

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень та напрацювань.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело. Електронний та паперовий варіанти роботи є ідентичними.*

Здобувач

Сергій СОЛЯНИК

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

Голова ЕК

Денис КОНОНЮК

Запоріжжя 2026



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	автоматизації виробництва, інформаційних та управлінських технологій
Кафедра	автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	бакалавр
Спеціальність	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (G3 Електрична інженерія)
ОПП	Інжиніринг електропостачання та електромеханічних систем у металургії та гірництві

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Артем РУХЛОВ

24.02.2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Соляника Сергія Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Розробка заходів щодо підвищення ефективності роботи підстанції 6/0,4 кВ цеху ремонту електрообладнання

керівник роботи Рухлов Артем Володимирович, доцент, кандидат технічних наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 23.06.2026р. №41/23.02.2026

2. Термін подання роботи 12.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти, методична література зі спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи, літературні джерела відкритого доступу, технологічні інструкції, матеріали Запоріжсталі, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, технологічний процес, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції, постановка задач з підвищення ефективності роботи підстанції). 2. Спеціальний розділ (2.1. Аналіз існуючих графіків електричного навантаження ПС та її схеми. 2.2. Обґрунтування типу, параметрів та режиму роботи засобів компенсації реактивної потужності групових автоматичних вимикачів. 2.3. Визначення режимних параметрів роботи ПС при впровадженні запропонованих заходів). 3. Економічне обґрунтування запропонованих заходів. 4. Безпека праці у предметній області. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Однолінійна схема підстанції глибокого вводу 150/6 кВ. Однолінійна схема ПС 6/0,4 кВ до та після запровадження заходів щодо підвищення ефективності її роботи. Результати розрахунків режимних енергетичних параметрів ПС 6/0,4 кВ.



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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Аналіз предметної області	доц. Рухлов А.В.
Спеціальний розділ	доц. Рухлов А.В.
Економічне обґрунтування запропонованих заходів	доц. Рухлов А.В.
Безпека праці у предметній області	доц. Рухлов А.В.

7. Дата видачі завдання 24.02.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	01.04.2026
2	Розділ 2. Спеціальний розділ	01.05.2026
3	Розділ 3. Економічне обґрунтування запропонованих заходів	08.05.2026
4	Розділ 4. Безпека праці у предметній області	18.05.2026
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	01.06.2026
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	12.06.2026
7	Остаточне оформлення роботи та графічного (презентаційного) матеріалу	17.06.2026
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	22.06.2026

Здобувач

Сергій СОЛЯНИК

Керівник роботи

Артем РУХЛОВ



АНОТАЦІЯ

Соляник Сергій Олександрович. Розробка заходів щодо підвищення ефективності роботи підстанції 6/0,4 кВ цеху ремонту електрообладнання. 55 сторінок машинописного тексту, 10 рисунків, 10 таблиць, 25 джерело. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (G3 Електрична інженерія). ОПП «Інжиніринг електропостачання та електромеханічних систем у металургії та гірництві». ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

Об'єкт дослідження: система електропостачання підстанції 6/0,4 кВ.

Предмет дослідження: методи та технічні рішення щодо підвищення ефективності роботи підстанції.

Мета дослідження: озробка заходів щодо підвищення ефективності роботи підстанції 6/0,4 кВ.

У першому розділі виконано аналіз предметної області, наведено характеристики цеху ремонту електрообладнання та його підстанції 6/0,4 кВ, проаналізовано існуючу схему електропостачання, технічний стан обладнання та визначено основні проблеми, що знижують ефективність роботи підстанції. Обґрунтовано необхідність впровадження заходів з підвищення енергоефективності та модернізації системи електропостачання.

У другому розділі розроблено комплекс заходів щодо підвищення ефективності роботи підстанції. Виконано розрахунок електричних навантажень цеху ремонту електрообладнання, визначено параметри споживання реактивної потужності та здійснено вибір установки компенсації реактивної потужності. Проведено розрахунок струмів короткого замикання та вибір автоматичних вимикачів для встановлення на стороні 0,4 кВ.

У третьому розділі виконано економічне обґрунтування запропонованих заходів, визначено витрати на впровадження компенсуючих пристроїв та нових автоматичних вимикачів.

У четвертому розділі наведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час експлуатації підстанції 6/0,4 кВ, розглянуто заходи з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки.

ПІДСТАНЦІЯ 6/0,4 кВ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ, ЦЕХ РЕМОНТУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЧНИЙ ВИМИКАЧ, СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.



ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	7
1.1 Характеристика об'єкта дослідження: цех ремонту електрообладнання та його підстанція 6/0,4 кВ	7
1.2 Аналіз існуючої схеми електропостачання та технічного стану обладнання підстанції	8
1.3 Обґрунтування необхідності підвищення ефективності роботи підстанції та виявлення основних проблем.....	13
2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	18
2.1 Розробка комплексу заходів щодо підвищення ефективності роботи підстанції 6/0,4 кВ	18
2.2 Розрахунок електричних навантажень цеху ремонту електрообладнання	20
2.3 Вибір потужності пристроїв компенсації у мережі 0,4 кВ	25
2.4 Визначення зменшення втрат електричної енергії в елементах мережі.....	30
2.5 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ	32
3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ	40
3.1 Загальні положення	40
3.2 Розрахунок ефективності	41
4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ У ПРЕДМЕТНІЙ ОБЛАСТІ.....	47
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації та обслуговуванні підстанції 6/0,4 кВ	47
4.2 Заходи з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки під час монтажу та обслуговування модернізованого електрообладнання.....	48
4.3 Заходи з електробезпеки під час експлуатації підстанції 6/0,4 кВ ..	50
4.4 Організація безпечного виконання робіт на підстанції	51
ВИСНОВКИ	53
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54



ВСТУП

Створення потужної енергетичної бази нашої країни необхідне для розвитку всіх галузей народного господарства. Зростання промислового виробництва та виникнення нових технологій вимагають все більш значних енерговитрат. При цьому спостерігається неухильне збільшення виробництва та споживання електричної енергії, як найбільш універсального типу енергії, у передачі якої беруть участь різні апарати високої напруги [1, 2].

Невід'ємною частиною сучасних систем енергопостачання є комплектні розподільні пристрої високої напруги (КРП) та комплектні трансформаторні підстанції (КТП), які дозволяють здійснювати керування потоком енергії та захист від аварійних режимів, а також розміщувати підстанції в невеликих приміщеннях та захищати обладнання від впливу довкілля. Сучасні електричні підстанції комплектуються певним набором комірок КРП, що дозволяє створити розподільний пристрій за однією з типових схем на місці монтажу, різко скоротити цей час, підвищити надійність роботи всієї електроустановки, а також зменшити витрати активних матеріалів та трудомісткість. Широке застосування КТП висуває підвищені вимоги до їх характеристик, забезпечення безперебійної та довготривалої роботи. У зв'язку з постійним зростанням номінальних струмів високовольтних апаратів та їх модернізацією, актуального значення набувають питання, пов'язані з розвитком експериментальних методів визначення втрат як в елементах струмопровідних систем, так і в інших конструктивних елементах таких апаратів, методи фізичного моделювання процесів тепловиділення та тепловідведення [3].

Сучасний етап розвитку промисловості України характеризується необхідністю тотального енергозбереження та модернізації застарілих електричних мереж. Для цеху ремонту електрообладнання, де використовується специфічне індуктивне та випробувальне устаткування, питання стабільності напруги та мінімізації втрат є критичним. Виконання даної роботи є вкрай необхідним, оскільки дозволяє адаптувати енергосистему підприємства до умов сьогодення: високої вартості енергоносіїв та потреби в безперебійній роботі ремонтних дільниць. Модернізація підстанції 6/0,4 кВ забезпечує не лише технічну надійність, а й фінансову стабільність організації через зниження експлуатаційних витрат.



1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Характеристика об'єкта дослідження: цех ремонту електрообладнання та його підстанція 6/0,4 кВ

Сучасний цех з ремонту електрообладнання (ЦРЕО) становить собою фундаментально важливий структурний підрозділ «Запорізького металургійного комбінату «ЗАПОРІЖСТАЛЬ». Його основне призначення полягає у забезпеченні безперервності виробничих процесів шляхом оперативного відновлення працездатності електричних машин, силових і вимірювальних трансформаторів, комутаційної апаратури високої та низької напруги, а також сучасних засобів промислової автоматизації. Специфіка функціонування цеху висуває суперечливі вимоги до його власної внутрішньої системи електропостачання. З одного боку, ЦРЕО виступає як типовий промисловий споживач із класичним набором загальнопромислових електроприймачів, до яких належать металообробні верстати, потужні підйомно-транспортні механізми, компресорні установки та системи загального освітлення. З іншого боку, цей цех функціонує як спеціалізована та високоточна випробувальна лабораторія, де відремонтоване високовольтне та низьковольтне обладнання проходить жорстку перевірку під номінальною напругою та екстремальним навантаженням.

У цеху виконуються роботи з ремонту електродвигунів, трансформаторів, пускорегулюючої апаратури, силових кабельних ліній, комутаційного обладнання, а також перевірка та налагодження систем електропостачання. Для забезпечення виробничого процесу застосовується значна кількість електротехнічного обладнання різного призначення.

До основних електроспоживачів цеху належать: металорізальні верстати; токарні та фрезерні станки; свердлильне обладнання; зварювальні установки; випробувальні стенди; компресорні установки; вентиляційні системи; мостові та консольні крани; освітлювальні установки; допоміжне електрообладнання.

Основну частину навантаження становлять асинхронні електродвигуни, які характеризуються значним споживанням реактивної потужності. Це призводить до зниження коефіцієнта потужності та збільшення втрат електроенергії в мережі, що обумовлює необхідність застосування засобів компенсації реактивної потужності.

Електропостачання цеху здійснюється від трансформаторної підстанції напругою 6/0,4 кВ. На стороні 6 кВ підстанція отримує живлення від розподільчої мережі підприємства, а на стороні 0,4 кВ забезпечує живлення силових та освітлювальних навантажень цеху.

Для забезпечення необхідної надійності електропостачання на підстанції передбачаються сучасні комутаційні апарати, системи



релейного захисту та автоматики, а також резервування окремих елементів системи електропостачання.

Даний цех належить до категорії виробничих підрозділів із підвищеною концентрацією електротехнічного обладнання, що зумовлює специфічний характер електричних навантажень. Цех ремонту електрообладнання призначений для виконання ремонтних, налагоджувальних та випробувальних робіт з електричними машинами, апаратами та електротехнічними пристроями. У складі технологічного обладнання цеху використовуються електродвигуни, зварювальні установки, випробувальні стенди, металорізальні верстати, а також допоміжні споживачі (освітлення, вентиляція, компресорне обладнання тощо).

Однією з актуальних проблем експлуатації таких підстанцій є неефективне використання встановленої потужності трансформаторів, підвищені втрати електроенергії, а також низький коефіцієнт потужності, що призводить до збільшення навантаження на елементи системи електропостачання та додаткових фінансових витрат підприємства. Значна частка реактивної потужності в електричних мережах промислових цехів обумовлює необхідність впровадження заходів щодо її компенсації та оптимізації режимів роботи електрообладнання.

1.2 Аналіз існуючої схеми електропостачання та технічного стану обладнання підстанції

Електропостачання підстанції №41 цеху ремонту електрообладнання здійснюється від підстанції глибокого вводу 150/6 кВ підприємства. Живлення ПС-41 виконується кабельною лінією напругою 6 кВ відповідно до існуючої схеми електропостачання підприємства. На стороні 6 кВ для приєднання ПС-41 використовується комутаційне та захисне обладнання, до складу якого входять:

- масляний вимикач типу ВМП-10-600;
- трансформатори струму типу ТПЛ-10 з коефіцієнтом трансформації 300/5;
- кабельна лінія марки ААБГ перерізом $3 \times 185 \text{ мм}^2$ довжиною 517 м (рис. 1.1).

Допустиме струмове навантаження кабельної лінії становить 195 А, прокладання виконано в тунелі та кабельному блоці. Це забезпечує надійне живлення підстанції та допустимий рівень втрат електроенергії в нормальних режимах роботи.

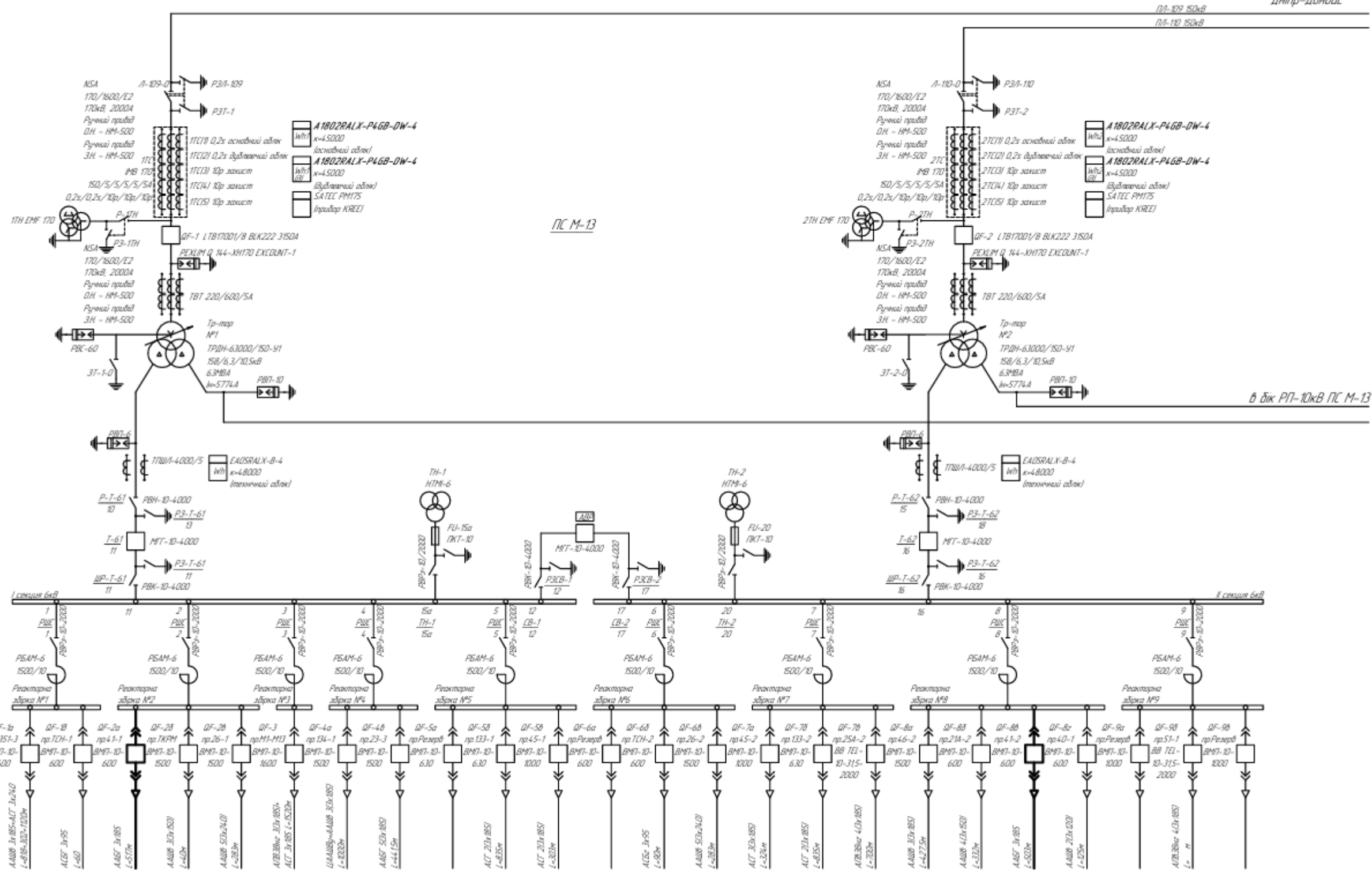


Рисунок 1.1 – Схема підстанції ПС 150/6



- 



Рисунок 1.3 – Підстанція №41 напругою 6/0,4 кВ.

Схема електропостачання підстанції №41 з напругою 6/0,4 кВ виконана за секційним принципом, що підвищує надійність електропостачання та дозволяє частково резервувати навантаження. Кожна секція шин живить окремі силові та освітлювальні навантаження. Від шин 0,4 кВ відходять лінії до виробничих дільниць, вентиляційних установок, освітлення, щитів керування та інших електроприймачів.

На схемі видно, що захист окремих відхідних ліній здійснюється плавкими запобіжниками типу ПР–2 (20 А, 30 А, 40 А, 50 А, 60 А, 200 А, 210 А, 260 А, 300 А, 450 А), вибір яких залежить від потужності та характеру навантаження споживачів.

Аналіз схеми показує, що підстанція забезпечує: двостороннє живлення секцій шин; можливість резервування навантаження; розподіл електроенергії між силовими та освітлювальними мережами; локалізацію аварійних режимів на окремих ділянках.

Разом з тим схема має ознаки морального та технічного старіння. На підстанції використовуються застарілі комутаційні апарати та рубильники, які мають нижчу надійність і менший рівень безпеки порівняно із сучасними вакуумними або автоматичними вимикачами. Відсутність



сучасних систем релейного захисту та автоматизації може призводити до збільшення часу ліквідації аварійних режимів.

Основними недоліками існуючої схеми є: високий ступінь зношення електрообладнання; використання застарілих апаратів захисту; недостатній рівень автоматизації; підвищені втрати електроенергії; складність оперативного обслуговування.

Технічний стан обладнання підстанції визначається терміном експлуатації трансформаторів, станом ізоляції, контактних з'єднань, шинопроводів та комутаційних апаратів. У процесі тривалої експлуатації можливе погіршення характеристик ізоляції, нагрівання контактів, окиснення струмовідних частин та зниження надійності роботи обладнання.

Для підвищення надійності та безпеки роботи підстанції доцільно передбачити:

- заміну застарілих рубильників на сучасні автоматичні вимикачі;
- модернізацію систем релейного захисту;
- встановлення пристроїв контролю навантаження;
- перевірку та реконструкцію системи заземлення;
- заміну пошкоджених кабельних ліній і контактних з'єднань;
- впровадження сучасних засобів обліку електроенергії.

Отже, існуюча схема електропостачання підстанції 6/0,4 кВ забезпечує необхідний рівень електропостачання споживачів, проте потребує модернізації та оновлення обладнання для підвищення надійності, енергоефективності та безпеки експлуатації.

Аналіз існуючої схеми електропостачання показує, що при роботі значної кількості індуктивних споживачів виникає підвищене споживання реактивної потужності, що призводить до збільшення струмів у мережі 0,4 кВ, додаткових втрат активної електроенергії та зниження коефіцієнта потужності (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Типовий графік електричних навантажень

Час доби	Характер навантаження	Рівень навантаження
00:00–06:00	Чергове навантаження, освітлення	Мінімальний
06:00–08:00	Запуск обладнання	Зростання
08:00–14:00	Основний виробничий режим	Максимальний
14:00–18:00	Часткове зниження навантаження	Середній
18:00–24:00	Завершення робіт, допоміжні механізми	Знижений



У зв'язку з цим виникає необхідність впровадження заходів щодо компенсації реактивної потужності та оптимізації режимів роботи підстанції для підвищення енергоефективності системи електропостачання цеху ремонту електрообладнання.

1.3 Обґрунтування необхідності підвищення ефективності роботи підстанції та виявлення основних проблем

Стабільна та ефективна робота системи електропостачання промислового підприємства є однією з основних умов забезпечення безперервності виробничого процесу, надійності роботи технологічного обладнання та зниження витрат електроенергії. Особливе значення при цьому має робота цехових підстанцій 6/0,4 кВ, через які здійснюється електропостачання основних виробничих споживачів.

Підстанція №41 цеху ремонту електрообладнання працює в умовах змінного та нерівномірного електричного навантаження, що пов'язано зі специфікою роботи технологічного обладнання цеху. Значна частина електроспоживачів представлена індуктивними навантаженнями, до яких належать електродвигуни, вентиляційні установки, зварювальні агрегати та інше електро cơханічне обладнання. Робота таких споживачів супроводжується підвищеним споживанням реактивної потужності.

Наявність значної реактивної складової навантаження призводить до зниження коефіцієнта потужності ($\cos\phi$), збільшення струмів у мережі та додаткових втрат активної електроенергії в трансформаторах, кабельних лініях і розподільчих пристроях. У результаті погіршується ефективність використання електрообладнання та зростають експлуатаційні витрати підприємства.

Однією з основних проблем існуючої системи електропостачання є недостатній рівень компенсації реактивної потужності.

Це призводить до: перевантаження елементів мережі; підвищених втрат електроенергії; збільшення падіння напруги; зниження пропускної здатності мережі; погіршення режимів роботи силових трансформаторів.

Крім того, аналіз роботи підстанції показує нерівномірність графіків електричного навантаження протягом доби. У години максимального навантаження виникає суттєве збільшення струмів, що негативно впливає на тепловий режим роботи трансформаторів та комутаційної апаратури. При цьому в години мінімального навантаження обладнання використовується неефективно, що також знижує загальну енергоефективність системи.

Важливим фактором є також моральне та технічне старіння окремих елементів системи електропостачання, що може призводити до зниження надійності електропостачання та підвищення ризику аварійних режимів.

У сучасних умовах підвищення вартості електроенергії та посилення вимог до енергоефективності промислових підприємств питання оптимізації режимів роботи цехових підстанцій набуває особливої актуальності. Одним із найбільш ефективних способів підвищення



енергоефективності є впровадження засобів компенсації реактивної потужності та оптимізація режимів роботи електричних мереж.

Сучасні дослідження у сфері електропостачання промислових підприємств свідчать, що одним із найбільш ефективних способів підвищення енергоефективності систем електропостачання є компенсація реактивної потужності. За даними Болюха та Калінчика [4], використання автоматизованих конденсаторних установок дозволяє підвищити коефіцієнт потужності до нормативних значень 0,95–0,98, зменшити навантаження на трансформатори та знизити втрати активної електроенергії в мережах підприємств.

У роботах Кузнецова та Тугай [5] зазначено, що найбільш поширеним технічним рішенням для мереж напругою 0,4 кВ є застосування автоматичних установок компенсації реактивної потужності (УКРМ), які забезпечують ступеневе регулювання потужності батарей конденсаторів залежно від режиму роботи електроспоживачів. Це дозволяє уникнути перекомпенсації та підтримувати стабільний режим напруги.

Дослідження, виконані фахівцями Національного університету «Львівська політехніка» [6], показують, що впровадження засобів компенсації реактивної потужності на промислових підстанціях забезпечує зниження струмів навантаження на 10–20 %, що приводить до зменшення втрат потужності в кабельних лініях пропорційно квадрату струму.

У роботах українських науковців Говорова та Денисюка [7] розглядаються сучасні інтелектуальні системи компенсації реактивної потужності, які поєднують конденсаторні батареї з мікропроцесорними регуляторами. Такі системи дозволяють автоматично контролювати коефіцієнт потужності, здійснювати моніторинг параметрів мережі та підвищувати надійність електропостачання.

Відповідно до рекомендацій компанії Schneider Electric [8], сучасний розвиток засобів компенсації реактивної потужності передбачає застосування автоматичних конденсаторних установок із тиристорним керуванням, які забезпечують швидке реагування на зміну навантаження та можуть ефективно працювати в мережах із великою кількістю електроприводів і зварювального обладнання.

Компенсація реактивної потужності на підстанції потрібна для того, щоб забезпечити більш ефективну роботу всієї системи електропостачання. Реактивна потужність сама по собі не виконує корисної роботи, але вона необхідна для створення магнітних полів у двигунах, трансформаторах та іншому обладнанні. Якщо її занадто багато, то зростають струми у мережі, збільшуються втрати електроенергії в кабелях і трансформаторах, падає напруга у споживачів, а обладнання працює з перевантаженням.

Таким чином, аналіз сучасних наукових досліджень показує, що основними напрямками підвищення ефективності роботи промислових



підстанцій є використання автоматичних установок компенсації реактивної потужності, впровадження цифрових систем контролю режимів електроспоживання та застосування сучасних засобів захисту й автоматизації. Для підстанції №41 цеху ремонту електрообладнання найбільш доцільним рішенням є встановлення автоматичних конденсаторних установок на стороні 0,4 кВ із можливістю ступеневого регулювання потужності.

Компенсація дозволяє зменшити ці небажані ефекти. Коли на підстанції встановлюють батареї конденсаторів або інші компенсуючі пристрої, вони генерують реактивну потужність протилежного знаку, тим самим знижуючи загальне навантаження на джерело живлення. Це призводить до зменшення струмів у лініях, зниження втрат і стабілізації напруги. У результаті трансформатори та кабелі можуть передавати більше активної потужності, тобто тієї, яка реально використовується для роботи обладнання [9].

Відповідно до вимог ДСТУ EN 50160:2023 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення», характеристики напруги в електричних мережах мають відповідати встановленим нормам, зокрема щодо допустимих відхилень напруги. Тому заходи з компенсації реактивної потужності важливо розглядати не лише як спосіб зменшення втрат електроенергії, а і як засіб покращення режимів напруги та підвищення надійності електропостачання.

Крім компенсації реактивної потужності, сучасні підходи до підвищення енергоефективності електропостачання промислових об'єктів передбачають оптимізацію режимів роботи електродвигунів, застосування енергоефективних приводів, частотного регулювання, удосконалення схем розподілу електроенергії та правильний вибір комутаційно-захисної апаратури. У матеріалах Міжнародного енергетичного агентства зазначається, що для електроприводних систем важливим є саме системний підхід: ефективний двигун або частотний привід дає найбільший результат лише за умови оптимізації всієї технологічної системи.

У сучасних системах електропостачання автоматичні вимикачі виконують одночасно функції комутації та захисту. Вони забезпечують автоматичне відключення пошкодженої ділянки мережі при перевантаженнях і коротких замиканнях, а також дозволяють виконувати оперативні перемикання без відключення інших споживачів. Відповідно до сучасних вимог проектування систем електропостачання промислових підприємств, захисна апаратура повинна вибиратися з урахуванням розрахункових струмів навантаження, струмів короткого замикання та умов селективної роботи захисту [10].

Однією з основних проблем існуючих систем електропостачання цехових підстанцій є відсутність групових автоматичних вимикачів на відхідних лініях 0,4 кВ. У багатьох застарілих схемах захист виконується лише плавкими запобіжниками або взагалі не забезпечує необхідного



рівня селективності та автоматичного відключення аварійних режимів. Це призводить до зниження надійності електропостачання, збільшення часу локалізації пошкоджень та погіршення умов експлуатації електрообладнання.

Відсутність групових автоматичних вимикачів ускладнює захист окремих споживачів від перевантажень та струмів короткого замикання. У разі виникнення аварії пошкодження може призвести до відключення цілої секції шин або значної групи електроприймачів, що негативно впливає на безперервність технологічного процесу. Особливо актуальною ця проблема є для цехів ремонту електрообладнання, де експлуатується велика кількість верстатів, зварювальних установок, вентиляційних систем та іншого обладнання зі змінним режимом роботи [11, 12].

Сучасні дослідження показують, що неправильний вибір або відсутність автоматичних вимикачів може призводити до перегріву контактів, пошкодження кабельних ліній, руйнування ізоляції та аварійного виходу з ладу електрообладнання. Особливо небезпечною є ситуація, коли вимикальна здатність захисного апарата є меншою за фактичний струм короткого замикання мережі [13].

Додатковою проблемою підстанції №41 є використання плавких запобіжників типу ПР-2, які належать до морально застарілих засобів захисту. Більшість таких апаратів була введена в експлуатацію кілька десятиліть тому, а їх серійне виробництво практично припинене. У зв'язку з цим виникають труднощі із забезпеченням оригінальними плавкими вставками та запасними частинами, що ускладнює технічне обслуговування і ремонт. Крім того, запобіжники ПР-2 не забезпечують необхідного рівня селективності, оперативності відновлення електропостачання та можливості налаштування параметрів захисту, які реалізовані в сучасних автоматичних вимикачах. Тому заміна існуючих запобіжників на сучасні автоматичні вимикачі є не лише заходом підвищення надійності електропостачання, а й необхідною умовою підтримання ремонтпридатності та безпечної експлуатації підстанції.

У цеху експлуатуються випробувальні стенди, сушильні печі, зварювальне обладнання, вентиляційні установки, мостові крани та металообробні верстати, які характеризуються частими змінами режимів роботи та значними пусковими струмами. У разі виникнення перевантаження або короткого замикання плавкі запобіжники не дозволяють швидко відновити електропостачання після усунення несправності, оскільки потребують заміни плавкої вставки. Це збільшує тривалість простоїв обладнання та негативно впливає на виробничий процес.

Крім того, при пошкодженні окремої відхідної лінії можливе відключення значної групи електроприймачів, що призводить до припинення роботи випробувальної станції ЦЕТЛ, сушильних печей або виробничих дільниць цеху. Особливо небезпечними є аварійні режими під час випробувань відремонтованого електрообладнання, коли раптове



знеструмлення може призвести до зриву технологічного процесу та додаткових витрат часу на повторне проведення випробувань.

Відсутність автоматичних вимикачів також ускладнює оперативне керування режимами роботи мережі 0,4 кВ, не дозволяє реалізувати сучасні вимоги до селективного захисту та знижує загальний рівень електробезпеки персоналу. Тому одним із напрямків модернізації підстанції №41 є заміна застарілих запобіжників і рубильників на сучасні автоматичні вимикачі з необхідною вимикальною здатністю та налаштованими характеристиками захисту.



2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розробка комплексу заходів щодо підвищення ефективності роботи підстанції 6/0,4 кВ

Підстанція ПС-41 6/0,4 кВ цеху ремонту електрообладнання є важливим елементом системи електропостачання підприємства, оскільки забезпечує живлення виробничого та допоміжного обладнання цеху. Надійна та ефективна робота підстанції безпосередньо впливає на стабільність технологічного процесу, рівень втрат електроенергії, якість електропостачання та економічні показники роботи підприємства.

Підстанція отримує живлення від підстанції глибокого вводу 150/6 кВ по кабельній лінії 6 кВ. На стороні 6 кВ встановлені вимикач ВМП-10-600 та трансформатори струму ТПЛ-10 300/5. Для живлення споживачів цеху на підстанції встановлено два силові трансформатори потужністю по 560 кВА з напругою 6/0,4 кВ.

Особливістю роботи підстанції є те, що в нормальному режимі експлуатації постійно працює лише один трансформатор, а другий знаходиться в резерві. Така схема застосовується для забезпечення надійності електропостачання та можливості швидкого резервування у разі аварії, ремонту або технічного обслуговування робочого трансформатора.

Значна частина навантаження має індуктивний характер, унаслідок чого виникає підвищене споживання реактивної потужності. Реактивна потужність не виконує корисної роботи, але створює додаткове навантаження на силовий трансформатор, кабельні лінії та комутаційну апаратуру. Це призводить до збільшення струмів у мережі, додаткових втрат активної електроенергії, підвищеного нагріву обладнання та погіршення режиму напруги (рис. 2.1).

За результатами аналізу графіка навантаження встановлено, що коефіцієнт потужності підстанції є недостатнім для ефективної роботи промислової мережі. Тому основним заходом підвищення ефективності роботи підстанції є компенсація реактивної потужності.

Для цього на стороні 0,4 кВ пропонується встановлення автоматичної установки компенсації реактивної потужності типу УКРМ. Автоматичне регулювання дозволяє змінювати кількість підключених конденсаторних ступенів залежно від поточного навантаження цеху. Це забезпечує підтримання необхідного коефіцієнта потужності та запобігає перекомпенсації у періоди малого навантаження.



Рисунок 2.1 – Типові графіки активного та реактивного навантаження ПС №41

Встановлення компенсуючої установки дозволить:

- зменшити реактивну складову навантаження; підвищити коефіцієнт потужності;
- зменшити повну потужність, що проходить через трансформатор;
- знизити струми у мережі 0,4 кВ;
- зменшити втрати активної електроенергії;
- покращити тепловий режим роботи трансформатора;
- підвищити строк служби електрообладнання.

Оскільки в роботі постійно перебуває лише один трансформатор, питання зниження його навантаження є особливо важливим. Після компенсації реактивної потужності зменшується повна потужність навантаження, а відповідно і струм, який проходить через обмотки трансформатора. Це дозволяє знизити нагрів трансформатора та підвищити надійність його роботи.

Другим важливим заходом є перевірка та модернізація апаратів захисту на стороні 0,4 кВ. Автоматичні вимикачі повинні відповідати фактичним струмам навантаження та мати достатню вимикальну здатність для відключення струмів короткого замикання. Особливу увагу необхідно приділити селективності захисту, щоб при аварії відключалася лише пошкоджена ділянка мережі, а не вся підстанція.

Для забезпечення ефективної роботи підстанції необхідно також здійснювати постійний контроль режимних параметрів:

- активної потужності;
- реактивної потужності;
- коефіцієнта потужності;
- струмів навантаження;
- напруги на секціях шин;

- 
- роботи компенсуючих установок.

Контроль цих параметрів дозволяє своєчасно виявляти перевантаження, несиметрію навантаження, несправності обладнання та відхилення режимів роботи від нормативних значень.

Додатковим заходом є рівномірний розподіл навантаження між секціями шин 0,4 кВ. У разі нерівномірного завантаження секцій можливе перевантаження окремих ліній та комутаційних апаратів. Тому необхідно забезпечити оптимальний розподіл споживачів між секціями для зменшення струмових навантажень та покращення режиму роботи обладнання.

Також важливим напрямом підвищення ефективності роботи підстанції є зменшення втрат електроенергії в кабельних лініях. Після компенсації реактивної потужності струми в мережі зменшуються, а втрати потужності, які визначаються пропорційно квадрату струму, також знижуються. Це дозволяє підвищити енергоефективність системи електропостачання та зменшити експлуатаційні витрати підприємства.

Особливу роль у забезпеченні надійності роботи підстанції відіграє резервний трансформатор. Його наявність дозволяє: забезпечити безперервність електропостачання; виконувати ремонт робочого трансформатора без знеструмлення цеху; підвищити надійність системи електропостачання; зменшити ризик аварійних простоїв обладнання.

Таким чином, комплекс заходів щодо підвищення ефективності роботи підстанції ПС-41 включає:

- компенсацію реактивної потужності;
- зниження навантаження на робочий трансформатор;
- зменшення втрат електроенергії;
- перевірку та модернізацію автоматичних вимикачів;
- забезпечення селективності захисту;
- контроль режимних параметрів;
- оптимальний розподіл навантаження між секціями шин;
- забезпечення готовності резервного трансформатора до роботи.

Впровадження запропонованих заходів дозволить підвищити енергоефективність підстанції 6/0,4 кВ, покращити якість електропостачання, знизити втрати електроенергії та підвищити надійність роботи системи електропостачання цеху ремонту електрообладнання.

2.2 Розрахунок електричних навантажень цеху ремонту електрообладнання

Розрахунок електричних навантажень цеху ремонту електрообладнання виконується з метою визначення фактичного навантаження підстанції ПС-41, оцінки режиму роботи силового трансформатора, а також подальшого вибору компенсуючих пристроїв і захисної апаратури.

Підстанція ПС-41 живить споживачів напругою 0,4 кВ від силового трансформатора потужністю 560 кВА. У нормальному режимі роботи один трансформатор перебуває під навантаженням, а другий знаходиться в резерві. Тому під час аналізу необхідно перевірити, чи здатний один трансформатор забезпечити живлення цеху в робочих та максимальних режимах. Перелік електроприймачів, що живляться від ПС №41, наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Електроприймачі, що живляться від ПС №41

№	Електроприймачі	Номінал запобіжника, А
1	Розетки комп'ютера	60
2	Розетки випробувальної станції ЦЕТЛ	60
3	Продовольчий магазин	210
4	Випробувальна станція ЦЕТЛ Ввод №1	450
5	ШП південної сторони та кранових тролей	300
6	Складальне відділення Потенціал-регулятор	260
7	Випробувальна станція ЦЕТЛ Ввод №2	200
8	Плотницька майстерня	30
9	Пульт стенда, північні ворота	40
10	Розпарювання «освітлення»	50
11	П/ст №41 ЩО раб	20
12	ЩП північна сторона	40
13	Освітлення цеху та підстанції	30
14	ЩП 2-й поверх	40
15	П/ст №41 1РП, освітлення 2-й поверх	30
16	Сушильні печі	430
17	П/ст №41 БРПУ	50

До складу електроприймачів цеху ремонту електрообладнання входять електродвигуни верстатного обладнання, вентиляційні установки, сушильні печі, зварювальні апарати, випробувальне обладнання, освітлювальна мережа та допоміжні споживачі. Значна частина цього обладнання має індуктивний характер навантаження, тому разом з активною потужністю споживається також реактивна потужність. Для оцінки режимів роботи підстанції ПС №41 та визначення характеру зміни навантаження протягом доби використано узагальнений погодинний графік навантаження, наведений у таблиці 2.2.



Таблиця 2.2 – Узагальнений погодинний графік навантаження ПС №41

Час	P, кВт	Q, квар
00:00-01:00	134,640	109,800
01:00-02:00	134,460	116,460
02:00-03:00	141,300	126,000
03:00-04:00	152,460	127,800
04:00-05:00	163,260	122,760
05:00-06:00	144,540	120,240
06:00-07:00	253,440	124,020
07:00-08:00	243,000	120,240
08:00-09:00	277,560	147,780
09:00-10:00	307,620	151,920
10:00-11:00	304,200	171,360
11:00-12:00	296,820	185,580
12:00-13:00	275,760	188,460
13:00-14:00	253,260	179,820
14:00-15:00	233,460	158,400
15:00-16:00	207,720	111,600
16:00-17:00	180,000	116,280
17:00-18:00	161,280	124,200
18:00-19:00	145,980	123,300
19:00-20:00	127,440	107,460
20:00-21:00	118,260	99,540
21:00-22:00	91,260	94,500
22:00-23:00	93,240	108,000
23:00-24:00	112,500	104,580
Разом	4553,460	3140,100

За даними узагальненого погодинного графіка навантаження:

- P = 4553,46 кВт,
- Q = 3140,10 квар,

де P – добове споживання активної потужності; Q – добове споживання реактивної потужності.

Середня активна потужність цеху визначається за формулою:

$$P_{\text{сеп}} = \frac{P}{t} \quad (2.1)$$

де $t = 24$ год – тривалість добового періоду.

$$P_{\text{сеп}} = \frac{4553,46}{24} = 189,73 \text{ кВт}$$

Середня реактивна потужність:

$$Q_{\text{сер}} = \frac{Q}{t} \quad (2.2)$$

$$Q_{\text{сер}} = \frac{3140,10}{24} = 130,84 \text{ кВар}$$

Повна середня потужність визначається за виразом:

$$S_{\text{сер}} = \sqrt{P_{\text{сер}}^2 + Q_{\text{сер}}^2} \quad (2.3)$$

$$S_{\text{сер}} = \sqrt{189,73^2 + 130,84^2} = 230,45 \text{ кВА}$$

Середній коефіцієнт потужності:

$$\cos \varphi_{\text{сер}} = \frac{P_{\text{сер}}}{S_{\text{сер}}} \quad (2.4)$$

$$\cos \varphi_{\text{сер}} = \frac{198,73}{230,45} = 0,82.$$

Отримане значення коефіцієнта потужності свідчить про наявність значної реактивної складової навантаження. Для промислових електричних мереж таке значення є недостатньо ефективним, тому в подальшому необхідно передбачити компенсацію реактивної потужності.

За добовим графіком у період 09:00-10:00 максимальна активна потужність становить:

$$P_{\text{max}} = 307,62 \text{ кВт.}$$

Максимальна реактивна потужність у період 12:00-13:00 :

$$Q_{\text{max}} = 188,46 \text{ кВар.}$$

Максимальна повна потужність:

$$S_{\text{max}} = \sqrt{P_{\text{max}}^2 + Q_{\text{max}}^2} \quad (2.5)$$

$$S_{\text{max}} = \sqrt{307,62^2 + 188,46^2} = 360,77 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт потужності в режимі максимального навантаження:

$$\cos \varphi_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}}}{S_{\text{max}}} \quad (2.6)$$



$$\cos \varphi_{max} = \frac{307,62}{360,77} = 0,85$$

Потужність одного трансформатора ПС-41 становить:

$$S_{тр} = 560 \text{ кВА.}$$

Оскільки в нормальному режимі працює один трансформатор, визначаємо його коефіцієнт завантаження у середньому режимі:

$$K_{зав.сер} = \frac{S_{сер}}{S_{тр}} \quad (2.7)$$

$$K_{зав.сер} = \frac{230,45}{560} = 0,411$$

$$K_{зав.сер} = 41,1\%$$

Коефіцієнт завантаження трансформатора у максимальному режимі:

$$K_{зав.мах} = \frac{S_{мах}}{S_{тр}} \quad (2.8)$$

$$K_{зав.мах} = \frac{360,77}{560} = 0,644$$

Отже, один трансформатор потужністю 560 кВА забезпечує живлення споживачів цеху навіть у режимі максимального навантаження. При цьому трансформатор не перевантажується, а другий трансформатор може використовуватися як резервний для підвищення надійності електропостачання.

За результатами розрахунку встановлено, що середня активна потужність цеху ремонту електрообладнання становить 189,73 кВт, середня реактивна потужність – 130,84 кВар, а середня повна потужність – 230,45 кВА. Максимальна повна потужність становить 360,77 кВА. При роботі одного трансформатора 560 кВА його завантаження у максимальному режимі становить приблизно 64,4 %, що є допустимим. Середній коефіцієнт потужності дорівнює 0,82, тому для підвищення ефективності роботи підстанції доцільно передбачити компенсацію реактивної потужності.

2.3 Вибір потужності пристроїв компенсації у мережі 0,4 кВ

Компенсація реактивної потужності в цеху ремонту електрообладнання необхідна для підвищення коефіцієнта потужності, зменшення струмового навантаження на робочий трансформатор, кабельні лінії та комутаційну апаратуру. Оскільки у нормальному режимі на ПС-41 працює один трансформатор потужністю 560 кВА, а другий перебуває в резерві, зменшення реактивної складової навантаження є важливим заходом підвищення ефективності роботи підстанції.

Виконаємо вибір батарей конденсаторів для промислового цеху за заданими вихідними даними:

1. Кількість трансформаторів – $n_T = 2$;
2. Коефіцієнт завантаження трансформаторів – $\beta_T = 0,64$;
3. Тип силового трансформатора – ТМ-560/6/;
4. Технічні характеристики трансформаторів наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристика трансформаторів ТМ-560/6

Тип	$U_{кз},$ %	$\Delta P_{кз},$ кВт	$\Delta P_{хх},$ кВт	$\Delta Q_{хх},$ кВАр	$I_{хх},$ %	Номінальна напруга обмоток	
						ВН	НН
ТМ-560/6	4,5	5,9	1,05	8,4	1,5	6	0,4

5. Згідно узагальненого погодинного графіка навантаження ПС №41(табл.2.2) активна та реактивна максимальні потужності цеху (на стороні 0,4 кВ):

$$P_{\max} = 307,62 \text{ кВт}, Q_{\max} = 188,46 \text{ кВАр}$$

6. Довжина живлячої кабельної лінії 6 кВ – $L_{кл6} = 0,517 \text{ км}$;

На напругу 0,4 кВ встановлюються конденсаторні батареї, котрі вибираються за максимальною потужністю.

$$Q_{нк} = Q_{м.цех} \quad (2.9)$$

Враховуючи вихідні дані розрахункова потужність БК на напрузі 0,4 кВ дорівнює:

$$Q_{нк} = 188,46 \text{ кВАр}$$

Враховуючи розрахункову потужність $Q_{нк} = 188,46 \text{ кВАр}$ та певну нерівномірність реактивного навантаження по добам, приймаємо до установки дві конденсаторні установки УКРМ 0.4-100/4-10 [14, 15] на стороні 0,4 кВ номінальної потужністю 100 кВАр кожна. Як бачимо,



перекомпенсації майже не буде, а сумарна потужність низьковольтних конденсаторних установок складе $Q_{БК.н} = 200$ кВАр.

Основні технічні характеристики конденсаторної установки на напругу 380 В, прийнятої до встановлення для компенсації реактивної потужності, наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики конденсаторної установки на напругу 380 В

Тип конденсаторної установки	Потужність, кВАр	Номінальний струм, А	Номінал вступного запобіжника	Мінімальний ступінь, кВАр	Ступені, кВАр
УКРМ 0.4-100/4-10	100	145	250	10	10+20+30+40 (ETI+Novar)

Для компенсації реактивної потужності прийнято дві автоматичні конденсаторні установки УКРМ 0.4 -100/4-10. Кожна установка має чотири ступені регулювання потужністю 10, 20, 30 та 40 кВАр. Сумарна встановлена потужність батарей конденсаторів становить 200 кВАр, що забезпечує компенсацію реактивної потужності цеху та підтримання нормативного коефіцієнта потужності.

$$Q_{БК} = 2 \cdot 100 = 200 \text{ кВАр}$$

Розрахункова максимальна реактивна потужність цеху становить:

$$Q_{БК} = 188,46 \text{ кВАр}$$

Після компенсації реактивна потужність становитиме:

$$Q_{після} = Q_{max} - Q_{БК} \quad (2.10)$$

$$Q_{після} = 188.46 - 200 = -11,54 \text{ кВАр}$$

Максимальна повна потужність до компенсації:

$$S_{max} = \sqrt{P_{max}^2 + Q_{max}^2} \quad (2.11)$$

$$S_{max} = \sqrt{307,62^2 + 188,46^2} = 360,76 \text{ кВА}$$

Максимальна повна потужність після компенсації:

$$S_{max \text{ після}} = \sqrt{P_{max}^2 + Q_{\text{після}}^2} \quad (2.12)$$

$$S_{max \text{ після}} = \sqrt{307,62^2 + (-11,54)^2} = 307,84 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт потужності після компенсації:

$$\cos\varphi_{\text{після}} = \frac{P_{\max}}{S_{\text{після}}} \quad (2.13)$$

$$\cos\varphi_{\text{після}} = \frac{30762}{307,84} = 0,99$$

Зменшення повного навантаження на трансформатор:

$$\Delta S = S_{max} - S_{max \text{ після}} \quad (2.14)$$

$$\Delta S = 360,76 - 307,84 = 52,92 \text{ кВА}$$

У відсотках:

$$\Delta S = \frac{52,92}{360,76} \cdot 100 = 14,67 \%$$

Отже, встановлення двох автоматичних конденсаторних установок УКРМ 0.4-100/4-10 дозволяє практично повністю компенсувати реактивну потужність навантаження (рис. 2.2), підвищити коефіцієнт потужності до значення, близького до одиниці, та зменшити повне навантаження на робочий трансформатор на 14,67%.

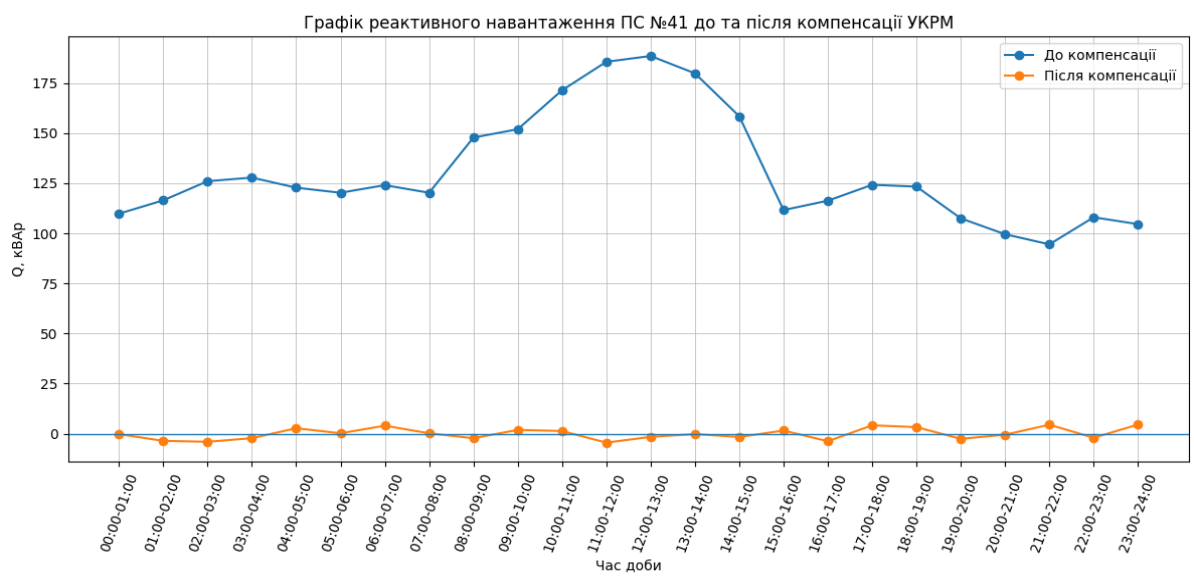


Рисунок 2.2 – Графік реактивного навантаження ПС №41 до та після компенсації УКРМ ПС №41



Для оцінки ефективності роботи УКРМ було змодельовано погодинне регулювання реактивної потужності. Оскільки прийнято до встановлення дві установки УКРМ 0.4-100/4-10 зі ступенями 10+20+30+40 кВАр, сумарна потужність компенсації може змінюватися від 0 до 200 кВАр з кроком 10 кВАр. Для кожної години добового графіка було підібрано таку кількість увімкнених ступенів, щоб залишкова реактивна потужність була мінімальною. Після компенсації реактивна потужність у більшості годин знаходиться в межах приблизно ± 5 кВАр, що свідчить про ефективну роботу автоматичних конденсаторних установок та практичне усунення перетоків реактивної потужності через трансформатор.

Оскільки на ПС-41 у нормальному режимі працює один трансформатор, компенсуючу установку доцільно підключати до секції шин 0,4 кВ, яка живиться від робочого трансформатора. При переведенні навантаження на резервний трансформатор має бути передбачена можливість живлення компенсуючої установки від резервної секції або через секційний апарат (рис. 2.3).

Встановлення автоматичної установки компенсації реактивної потужності дозволить:

- підвищити коефіцієнт потужності до нормативного рівня;
- зменшити струм у мережі 0,4 кВ;
- знизити втрати активної електроенергії;
- покращити режим напруги у споживачів;
- зменшити нагрівання трансформатора та кабельних ліній;
- підвищити ефективність роботи підстанції ПС-41.

Електротехнічні рішення кваліфікаційної роботи – підвищення надійності та безпеки роботи ПС-41

- заміна застарілих рубильників із запобіжниками на сучасні автоматичні вимикачі;
- використання одноступінчастих автоматичних вимикачів;
- облаштування резервних присідань;
- модернізація систем релейного захисту;
- втілення АВР на секційному вимикачі та вводі №2;
- встановлення пристроїв контролю навантаження;
- впровадження сучасних засобів обліку електроенергії з інтеграцією до системи АСОУ;
- впровадження компенсації реактивної потужності.

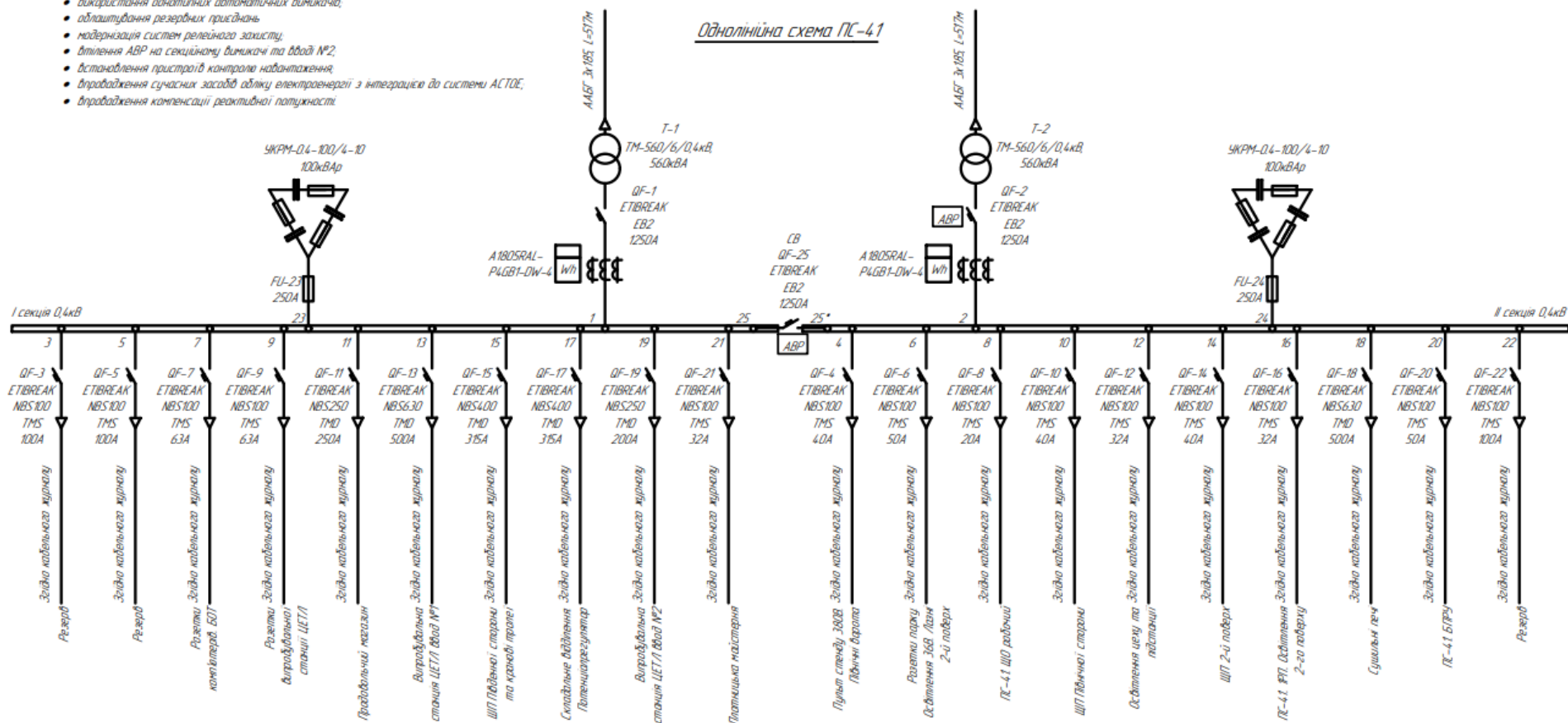


Рисунок 2.3 – Однолінійна схема після впровадження заходів щодо підвищення ефективності роботи

2.4 Визначення зменшення втрат електричної енергії в елементах мережі

Процес електропостачання підприємства супроводжується додатковими втратами електроенергії в електричних мережах, пов'язаними зі значними перетоками реактивної потужності.

Оцінимо зниження втрат електричної енергії в живлячих лініях та трансформаторах у випадку компенсації реактивної потужності на стороні 0,4 кВ. Тривалість часу використання максимального навантаження прийемо $T_m = 5403$ год. Тариф на електроенергію складає $T = 7,0548$ грн./кВт·год.

Число годин використання максимального навантаження визначається за фактичним графіком електричного навантаження підстанції:

$$T_m = \frac{W_{\text{річ}}}{P_{\text{max}}} \quad (2.15)$$

З урахуванням добового споживання активної енергії $W_{\text{доб}} = 4553,46$ кВт та максимальної активної потужності $P_{\text{max}} = 307,62$ кВт визначимо середньодобове число годин використання максимуму:

$$T_m = \frac{4553,46}{307,62} = 14,8 \text{ год}$$

Річне значення:

$$T_m = \frac{4553,46}{307,62} \cdot 365 = 5403 \text{ год}$$

Показники електроспоживання:

- до компенсації:

$$\begin{aligned} P_{\text{max}} &= 307,62 \text{ кВт} \\ Q_{\text{max}} &= 188,46 \text{ кВАр} \\ S_{\text{max}} &= 360,76 \text{ кВА} \end{aligned}$$

- після компенсації:

$$\begin{aligned} P_{\text{після}} &= 307,62 \text{ кВт} \\ Q_{\text{після}} &= -11,54 \text{ кВАр} \\ S_{\text{після}} &= 307,84 \text{ кВА} \end{aligned}$$

Вартість втрат електричної енергії при завантаженні елементів мережі активною потужністю до та після компенсації реактивної відповідно:

- в постачальній кабельній лінії:

$$B_{1\Delta A.кл} = 3\tau_{нб} \cdot T \cdot n_{л} \cdot I_{м}^2 \cdot R/n_{л} \cdot 10^{-3} = 3\tau \cdot T \cdot n_{л} \cdot \left(\frac{S_{м.цех.1}}{\sqrt{3}U_{ном}}\right)^2 \cdot R/n_{л} \cdot 10^{-3};$$

$$B_{2\Delta A.кл} = 3\tau_{нб} \cdot T \cdot n_{л} \cdot I_{м}^2 \cdot \frac{R}{n_{л}} \cdot 10^{-3} = 3\tau \cdot T \cdot n_{л} \cdot \left(\frac{S_{м.цех.2}}{\sqrt{3}U_{ном}}\right)^2 \cdot \frac{R}{n_{л}} \cdot 10^{-3},$$

де $\tau_{нб}$ – час найбільших втрат, який визначається:

$$\tau_{нб} = (0,124 + \frac{T_{м}}{10000})^2 \cdot 8760 = (0,124 + \frac{5403}{10000})^2 \cdot 8760 = 3870 \text{ год};$$

де $n_{л} = 1$ – кількість ліній живлення;

$T_{м}$ – кількість годин використання максимальної потужності;

$R = r_0 L_{кл}$ – активний опір кабельної лінії, що визначається її питомим опором та довжиною.

Питомий активний опір кабелю ААБГ 3×185 мм² прийнято за довідковими даними $r_0 = 0,169 \text{ Ом/км}$:

$$R = r_0 \cdot L_{кл} \quad (2.16)$$

$$R = 0,169 \cdot 0,517 = 0,0874 \text{ Ом}$$

Отже, зменшення вартості втрат електроенергії після компенсації:

$$B_{1\Delta A.кл} = 3 \cdot 3870 \cdot 7,0548 \cdot 1 \left[\left(\frac{360,76}{\sqrt{3} \cdot 6}\right)^2 \cdot \frac{(0,169 \cdot 0,517)}{1} \right] \cdot 10^{-3} = 8 \, 625 \text{ грн.}$$

$$B_{2\Delta A.кл} = 3 \cdot 3870 \cdot 7,0548 \cdot 1 \left[\left(\frac{307,84}{\sqrt{3} \cdot 6}\right)^2 \cdot \frac{(0,169 \cdot 0,517)}{1} \right] \cdot 10^{-3} = 6 \, 280 \text{ грн.}$$

$$\Delta B_{\Delta A.кл} = 8 \, 625 - 6 \, 280 = 2 \, 345 \text{ грн.}$$

- в цехових трансформаторах:

$$B_{\Delta A.T} = n_T \cdot T \cdot (\Delta P_{xx} T_p + \Delta P_{кз} K_3^2 \tau_{нб})$$

де n_T – кількість трансформаторів; $T_p = 8760 \text{ год.}$ – число годин роботи трансформатора на рік.

Коефіцієнти завантаження трансформатора:

- до компенсації $K_3 = 360,76 / (1 \cdot 560) = 0,64$;



- після компенсації $K_3 = 307,84/(1 \cdot 560) = 0,55$.

Отже, зменшення вартості втрат електроенергії в трансформаторах після компенсації:

$$B_{1\Delta A.T} = 1 \cdot 7,0548 \cdot (1,05 \cdot 8760 + 5,9 \cdot 0,64^2 \cdot 3870) \cdot 10^{-3} = 130,87 \text{ тис. грн.}$$

$$B_{2\Delta A.T} = 1 \cdot 7,0548 \cdot (1,05 \cdot 8760 + 5,9 \cdot 0,55^2 \cdot 3870) \cdot 10^{-3} = 113,62 \text{ тис. грн}$$

$$\Delta B_{\Delta A.T} = 130,87 - 113,62 = 17,25 \text{ тис. грн.}$$

Засоби компенсації реактивної потужності дозволяють уникнути додаткових втрат активної потужності в опорах елементів цехових мереж і збільшити їх пропускну спроможність.

Сумарне зменшення вартості втрат електричної енергії:

$$\Delta B_{\Delta A} = 2,3 + 17,25 = 19,55 \text{ тис. грн.}$$

2.5 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ виконується для перевірки вибраних автоматичних вимикачів, шин, кабельних ліній та іншої комутаційної апаратури підстанції ПС-41.

Підстанція ПС-41 має два силові трансформатори потужністю по 560 кВА, однак у нормальному режимі роботи навантаження живиться від одного трансформатора, а другий перебуває в резерві. Тому основний розрахунок струму короткого замикання виконується для одного робочого трансформатора. Розрахункову схему для визначення струмів короткого замикання наведено на рисунку 2.4, а відповідну схему заміщення до неї – на рисунку 2.5.

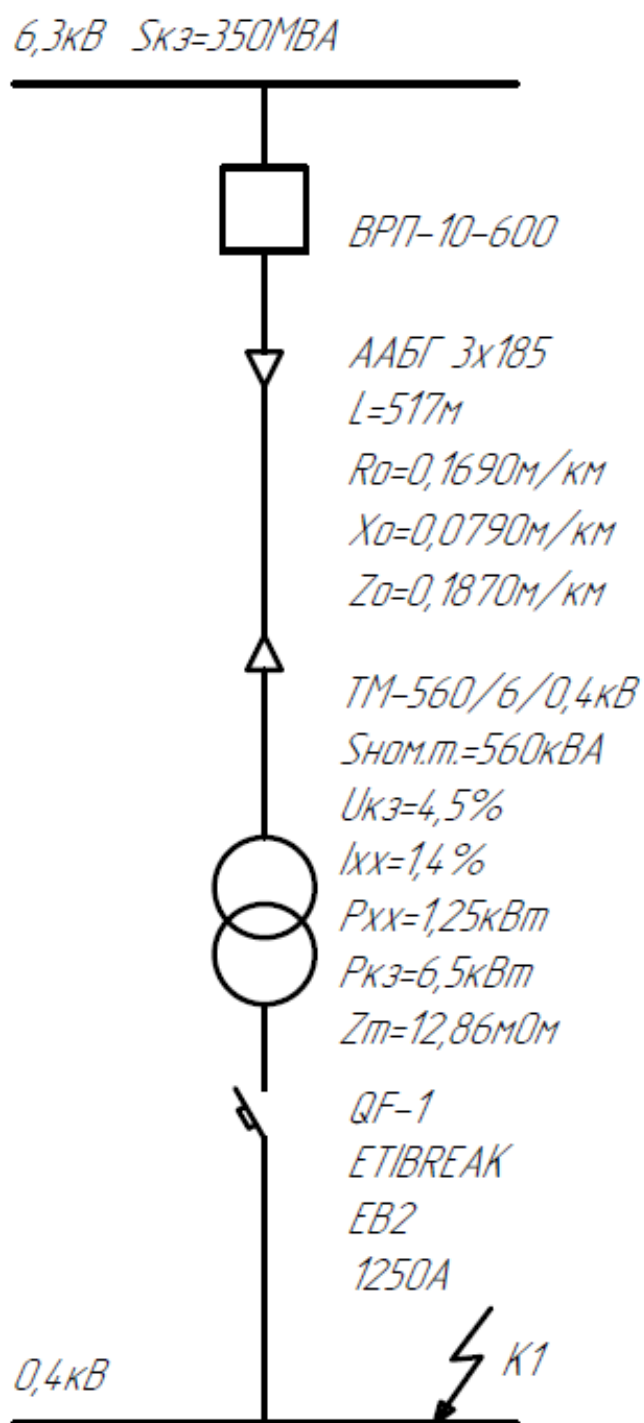


Рисунок 2.4 – Розрахункова схеми для визначення струмів к.з.

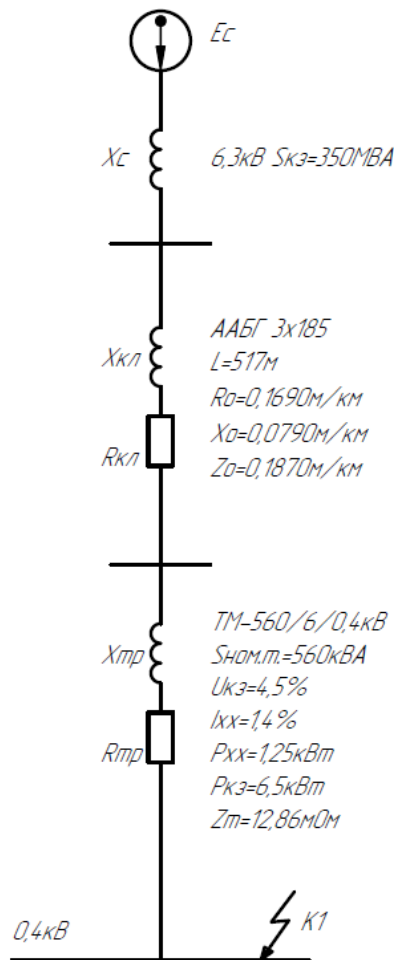


Рисунок 2.5 – Схема заміщення до розрахункової схеми

Розраховуємо опір системи приведений до напруги 0,4 кВ

$$X_c = \frac{U_H^2}{S_{K3}} \cdot K_T^2 = \frac{U_H^2}{S_{K3}} \cdot \frac{U_{cp.H}^2}{U_{cp.B}^2} \quad (2.17)$$

де S_{K3} – потужність КЗ на шинах підстанції; $U_{cp.B}$, $U_{cp.H}$ – середні напруги на високій і низькій стороні трансформатора.

$$X_c = \frac{6^2}{350} \cdot \frac{0,4^2}{6^2} = 0,46 \text{ мОм}$$

Знаходимо опір кабельної лінії 6 кВ, що живить ПС-41, приведений до напруги ступені к.з. $U_{cp.осн} = 0,4 \text{ кВ}$

$$R_{кл} = r_0 \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp.осн}^2}{U_{cp.i}^2} \right) \quad (2.18)$$

$$X_{\text{кл}} = x_0 \cdot l \cdot \left(\frac{U_{\text{ср.осн}}^2}{U_{\text{ср.і}}^2} \right) \quad (2.19)$$

$$R_{\text{кл}} = 0,169 \cdot 0,517 \cdot \left(\frac{0,4^2}{6^2} \right) = 0,39 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{кл}} = 0,079 \cdot 0,517 \cdot \left(\frac{0,4^2}{6^2} \right) = 0,18 \text{ мОм}$$

Розраховуємо опір цехового трансформатора ПС-41

$$R_{\text{Т}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{н}}^2}{S_{\text{н.Т}}^2} \cdot \left(\frac{U_{\text{ср.осн}}^2}{U_{\text{ср.і}}^2} \right) \quad (2.20)$$

$$Z_{\text{Т}} = \frac{u_{\text{к\%}} \cdot U_{\text{н}}^2}{100 \cdot S_{\text{н.Т}}} \cdot \left(\frac{U_{\text{ср.осн}}^2}{U_{\text{ср.і}}^2} \right) \quad (2.21)$$

$$X_{\text{Т}} = \sqrt{Z_{\text{Т}}^2 - R_{\text{Т}}^2} \quad (2.22)$$

$$R_{\text{Т}} = \frac{6,5 \cdot 6^2}{560^2} \cdot \left(\frac{0,4^2}{6^2} \right) = 3,32 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{Т}} = \frac{4,5 \cdot 6^2}{100 \cdot 560} \cdot \left(\frac{0,4^2}{6^2} \right) = 12,86 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{Т}} = \sqrt{12,86^2 - 3,32^2} = 12,42 \text{ мОм}$$

При розрахунку струмів короткого замикання в мережах до 1000 В необхідно враховувати перехідні опори контактів. Для точки короткого замикання К1 перехідні опори на контактах приймаємо 15 мОм.

Сумарний активний та реактивний опір знаходиться за формулами:

$$R_{\Sigma \text{К1}} = R_{\text{кл}} + R_{\text{Т}} + R_{\text{дод}} \quad (2.23)$$

$$X_{\Sigma \text{К1}} = X_{\text{с}} + X_{\text{кл}} + X_{\text{Т}} \quad (2.24)$$

$$R_{\Sigma \text{К1}} = 0,39 + 3,32 + 15 = 18,71 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma \text{К1}} = 0,46 + 0,18 + 12,42 = 13,06 \text{ мОм}$$

Струм трифазного КЗ визначаємо за формулою

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma\text{КЗ}}^2 + X_{\Sigma\text{КЗ}}^2}} \quad (2.25)$$

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{18,71^2 + 13,06^2}} = 10121,3 \text{ А}$$

Для перевірки електродинамічної стійкості апаратів визначається ударний струм короткого замикання:

$$i_{\text{уд}} = k_{\text{уд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{КЗ}} \quad (2.26)$$

де $k_{\text{уд}}$ – ударний коефіцієнт, значення якого визначається за графіком залежно від параметрів мережі. Графік для визначення ударного коефіцієнта наведено на рисунку 2.6.

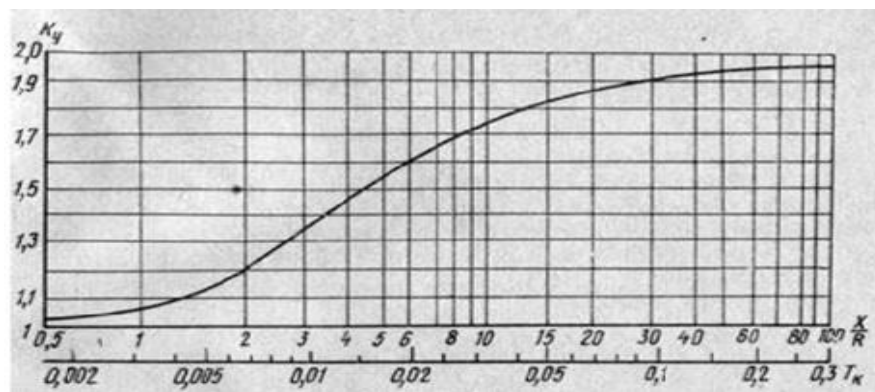


Рисунок 2.6 – Графік для визначення ударного коефіцієнта

$$k_{\text{уд}} = 1,06$$

$$i_{\text{уд}} = 1,06 \cdot 1,414 \cdot 10,121 = 15,17 \text{ кА}$$

Додатково розраховуємо номінальний струм трансформатору на боці напруги 0,4кВ

Номінальний струм трансформатора на стороні 0,4 кВ визначається за формулою:

$$I_{\text{н.тр}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{нн}}} \quad (2.27)$$



$$I_{н.тр} = \frac{560}{1,73 \cdot 0,4} = 808 \text{ A}$$

Згідно ПТЕЕС допускається роботу трансформатору в режимі перевантаження.

Розраховуємо струм перевантаження трансформатору для режиму роботи с коефіцієнтом 1,4.

$$I_{пер.тр} = 1,4 \cdot \frac{S_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн}} \quad (2.28)$$

$$I_{н.тр} = 1,4 \cdot \frac{560}{1,73 \cdot 0,4} = 1131,2 \text{ A}$$

За результатами розрахунку встановлено, що струм трифазного короткого замикання на шинах 0,4 кВ підстанції ПС-41 при роботі одного трансформатора становить приблизно 10,121 кА, ударний струм – 15,17 кА, номінальний струм трансформатору на боці 0,4 кВ дорівнює 808 А, а струм перевантаження трансформатору в режимі 1,4 дорівнює 1131,2 А.

За даними розрахунками обираємо ввідні та секційний автоматичні вимикачі типу ETIBREAK EB2 1250 на номінальний струм 1250 А з максимальним струмом вимикання 50 кА та струмом багаторазового вимикання коротких замикань 38 кА [16].

Вибір автоматичних вимикачів виконуємо за умовами роботи в нормальному режимі і умовами стійкості при коротких замиканнях виходячи з таких умов:

1) відповідність номінальної напруги автоматичного вимикача $U_{ном,авт}$ номінальній напрузі мережі U_m :

$$U_{ном,авт} \geq U_m \rightarrow$$

$$590 \text{ В} > 380 \text{ В}$$

2) відповідність максимальному робочому струму в тривалому режимі для індивідуального електроприймача I_m (I_p) або групи електроприймачів номінальному струму автоматичного вимикача $I_{ном.авт}$:

$$I_{ном,авт} \geq I_{ном} \text{ або } I_{ном,авт} \geq I_m$$

1250 А > 808 А для нормального режиму та 1250 А > 1131,2 А при перевантаженні трансформатору в режимі 1,4.

Для реалізації необхідної захисної характеристики автоматичного вимикача вибирається відповідний розчеплювач (електромагнітний; тепловий; комбінований; напівпровідниковий).



Далі виконується вибір уставок автоматичного вимикача залежно від захисту і вибраного розчеплювача:

3) при наявності захисту від перевантаження:

$$I_{с. п.} \geq 1,25 \cdot I_{ном} \text{ або } I_{с. п.} \geq 1,25 \cdot I_m$$

1750A ($0,4 I_{ном.авт}$) > 1414A при перевантаженні трансформатору в режимі 1,4.

4) при наявності захисту від струмів к.з. (струмова відсічка):

$$I_{с. в.} \geq 1,25 \cdot I_{пуск} \text{ або } I_{с. в.} \geq 1,25 \cdot I_{пик}$$

$$15000 \text{ A } (12 I_{ном.авт}) > 12651 \text{ A}$$

де $I_{пик}$ – значення пікового струму для групи електроприймачів, А;

$I_{пуск}$ – значення пускового струму окремого електроприймача, А.

Будуємо карту селективності для обраних автоматичних вимикачів (рис. 2.7).

Аналогічно обираємо автоматичні вимикачі для всіх приєднань ПС41 (див. табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Автоматичні вимикачі, встановлені на РУ-0,4 кВ ПС-41

№ п/п	Позначення на схемі	Тип АВ	Номинальний струм, А
1	Qf-1 Etibreak Eb2 1250a	Etibreak Eb2	1250
2	Qf-2 Etibreak Eb2 1250a	Etibreak Eb2	1250
3	Qf-3 Etibreak Nbs100 Tms 100a	Etibreak Nbs100 Tms	100
4	Qf-4 Etibreak Nbs100 Tms 40a	Etibreak Nbs100 Tms	40
5	Qf-5 Etibreak Nbs100 Tms 100a	Etibreak Nbs100 Tms	100
6	Qf-6 Etibreak Nbs100 Tms 50a	Etibreak Nbs100 Tms	50
7	Qf-7 Etibreak Nbs100 Tms 63a	Etibreak Nbs100 Tms	63
8	Qf-8 Etibreak Nbs100 Tms 20a	Etibreak Nbs100 Tms	20
9	Qf-9 Etibreak Nbs100 Tms 63a	Etibreak Nbs100 Tms	63
10	Qf-10 Etibreak Nbs100 Tms 40a	Etibreak Nbs100 Tms	40
11	Qf-11 Etibreak Nbs250 Tmo 250a	Etibreak Nbs250 Tmo	250
12	Qf-12 Etibreak Nbs100 Tms 32a	Etibreak Nbs100 Tms	32
13	Qf-13 Etibreak Nbs630 Tmo 500a	Etibreak Nbs630 Tmo	500
14	Qf-14 Etibreak Nbs100 Tms 40a	Etibreak Nbs100 Tms	40
15	Qf-15 Etibreak Nbs400 Tmo 315a	Etibreak Nbs400 Tmo	315
16	Qf-16 Etibreak Nbs100 Tms 32a	Etibreak Nbs100 Tms	32

Продовження таблиці 2.5

№ п/п	Позначення на схемі	Тип АВ	Номінальний струм, А
17	Qf-17 Etibreak Nbs400 Tmo 315a	Etibreak Nbs400 Tmo	315
18	Qf-18 Etibreak Nbs630 Tmo 500a	Etibreak Nbs630 Tmo	500
19	Qf-19 Etibreak Nbs250 Tmo 200a	Etibreak Nbs250 Tmo	200
20	Qf-20 Etibreak Nbs100 Tms 50a	Etibreak Nbs100 Tms	50
21	Qf-21 Etibreak Nbs100 Tms 32a	Etibreak Nbs100 Tms	32
22	Qf-22 Etibreak Nbs100 Tms 100a	Etibreak Nbs100 Tms	100

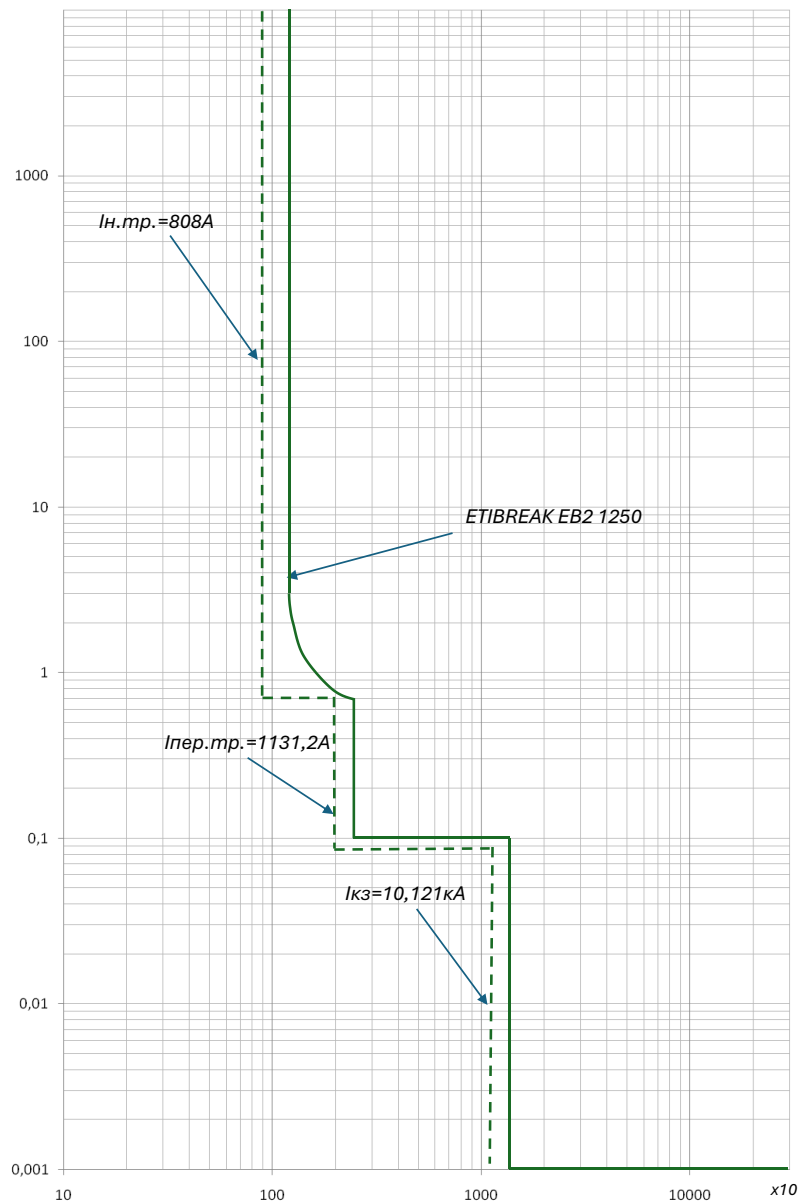


Рисунок 2.7 – Карта селективності ввідних та секційного автоматичних вимикачів для ПС-41



3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

3.1 Загальні положення

Підстанція ПС-41 6/0,4 кВ цеху ремонту електрообладнання забезпечує електропостачання виробничого та допоміжного обладнання цеху. Це єдине джерело електропостачання для цеху ремонту електрообладнання, тому надійна та ефективна робота підстанції безпосередньо впливає на стабільність технологічного процесу, рівень втрат електроенергії, якість електропостачання та економічні показники роботи підприємства.

При цьому на стороні 0,4 кВ комутаційне обладнання ПС-41 застаріле із зниженим ресурсом надійності. До модернізації комутаційне обладнання виконано на базі рубильників та запобіжників. За такої схеми у разі спрацювання запобіжників при будь яких аварійних ситуаціях призводить до того, що без заміни запобіжника або заміни плавкої вставки запобіжника відновлення електропостачання секції чи окремого приєднання неможливе, що призводить до збільшення часу відновлення електропостачання.

Модернізацію РП-0,4 кВ ПС-41, що включає заміну блоку «рубильник-запобіжник» на автоматичний вимикач можна розглядати як проєкт підтримання роботоспроможності об'єкту, однак модернізація включає ще й встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності, що дозволяє розглядати модернізацію як проєкт з економічною доцільністю реалізації.

В основу фінансової оцінки проєкту з енергоефективності покладено декілька базових принципів:

- аналіз і розрахунок проводиться по всьому життєвому циклу від початку інвестування в проєктно-конструкторські роботи до утилізації обладнання;
- для коректного порівняння різних проєктів, їх приводять у відповідні умови. Аналіз виконується з розбиттям життєвого циклу проєкту на етапи, в межах яких здійснюються розрахунки витрат і отриманих заощаджень коштів. Для зручності етапи приймаються рівні з тривалістю в один рік. При порівнянні декількох різних проєктів встановлюється один і той же «момент початку»;
- на кожному етапі життєвого циклу проєкту проводиться моделювання грошових потоків, яке дозволяє отримати дані щодо грошових потоків, що складаються із заощаджених та витрачених коштів;
- при проведенні аналізу, особливо на тривалі періоди (кілька років) необхідно враховувати фактор зміни вартості грошей у часі. Одна і та ж сума в сьогоdnішньому періоді і через 5 або 10 років має різну купівельну спроможність. Для приведення грошей до єдиних умов з урахуванням фактору часу використовується дисконтування;

- поряд з розрахунком енергетичних ефектів необхідно експертно враховувати і неенергетичні ефекти (поліпшення мікроклімату, підвищення комфорту тощо).

Даний проєкт модернізації ПС-41 будемо оцінювати за методом оцінки проєкту за чистою приведеною вартістю – NPV.

3.2 Розрахунок ефективності

У системі планування проєктів оцінка ефективності є одним з найвідповідальніших кроків. Цю оцінку можна проводити на різних етапах планування [17]:

1) на етапі проведення технічного аналізу та фінансування. На цьому етапі ще невідомі всі умови підприємницької діяльності і вибір роблять на основі спрощеного часткового аналізу;

2) на вирішальному етапі, коли відомі всі умови фінансової сфери. Приймаючи до уваги спрощений аналіз можна приймати остаточне рішення.

При аналізі ефективності використовують такі показники:

1) сума інвестицій – кількість початкових вкладень у проєкт, без яких він не може існувати. Має довгостроковий характер;

2) грошовий потік – дохід від реалізації проєкту, який включає в себе чистий прибуток та амортизаційні відрахування.

3) чиста теперішня вартість проєкту (NPV). Це найвідоміший та найуживаніший критерій. Являє собою дисконтовану цінність проєкту (поточну вартість доходів або вигід від вкладених інвестицій).

Визначаємо капітальні інвестиції. Обсяг капітальних інвестицій складається з вартості нового обладнання, транспортних витрат та витрат на монтажні роботи.

Визначаємо вартість нового обладнання (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Вартість нового обладнання для модернізації РП-0,4 кВ ПС-41 [18, 19]

№ п/п	Тип обладнання	Кількість, шт.	Вартість, тис. грн./шт.	Загальна вартість, тис. грн.
1	Автоматичний вимикач ETIBREAK EB2 1250A – QF-1, QF-2, QF-25	3	90,2	270,6
2	Автоматичний вимикач ETIBREAK NBS100 TMS 100 A – QF-3, QF-5, QF-22	3	4,3	12,9
3	Автоматичний вимикач ETIBREAK NBS100 TMS 40 A – QF-4, QF-10, QF-14	3	3,9	11,7

Продовження таблиці 3.1

№ п/п	Тип обладнання	Кількість, шт.	Вартість, тис. грн./шт.	Загальна вартість, тис. грн.
4	Автоматичний вимикач ЕТІBREAK NBS100 TMS 50 А – QF-6, QF-20	2	4,1	8,2
5	Автоматичний вимикач ЕТІBREAK NBS100 TMS 63 А – QF-7, QF-9	2	4,2	8,4
6	Автоматичний вимикач ЕТІBREAK NBS100 TMS 20 А – QF-8	1	3,9	3,9
7	Автоматичний вимикач ЕТІBREAK NBS100 TMS 32 А – QF-12, QF-16, QF-21	3	3,9	11,7
8	Автоматичний вимикач ЕТІBREAK NBS250 TMD 250 А – QF-11	1	4,9	4,9
9	Автоматичний вимикач ЕТІBREAK NBS630 TMD 500 А – QF-13, QF-18	2	16,8	33,6
10	Автоматичний вимикач ЕТІBREAK NBS400 TMD 315 А – QF-15, QF-17	2	14,8	29,6
11	Автоматичний вимикач ЕТІBREAK NBS250 TMD 200 А – QF-19	1	4,6	4,6
12	Автоматична конденсаторна установка УКРМ 0.4-100/4-10	2	53,5	107,0
Всього				507,1

Визначаємо транспортні витрати:

$$I_{\text{ТР}} = \frac{I_{\text{мат}} \cdot K_{\text{ТР}}}{100\%}, \quad (3.1)$$

де $I_{\text{мат}}$ – загальна вартість обладнання для модернізації РП-0,4 кВ ПС-41 (див. табл. 3.1)

$K_{\text{ТР}}$ – відсоток відрахувань на транспортні витрати, $K_{\text{ТР}}=3\%$ [20].

$$I_{\text{ТР}} = \frac{507,1 \cdot 3}{100} = 15,21 \text{ тис. грн.}$$

Визначаємо заготівельно-складські витрати.



$$I_{3-с} = \frac{(I_{\text{мат}} + I_{\text{ТР}}) \cdot K_{3-с}}{100\%} \quad (3.2)$$

де $K_{3-с}$ – відсоток відрахувань на заготівельно-складські витрати, $K_{3-с} = 0,9\%$ [20]:

$$I_{3-с} = \frac{(507,1 + 15,21) \cdot 0,9}{100} = 4,7 \text{ тис. грн.}$$

Визначаємо витрати на монтажні роботи.

$$I_{\text{МОНТ}} = \frac{I_{\text{мат}} \cdot K_{\text{МОНТ}}}{100\%} \quad (3.3)$$

де $K_{\text{МОНТ}}$ – середній коефіцієнт для монтажних робіт, $K_{3-с}=30\%$.

$$I_{\text{МОНТ}} = \frac{507,1 \cdot 30}{100} = 152,1 \text{ тис. грн.}$$

Визначаємо загальні інвестиційні витрати для модернізації РП-0,4 кВ ПС-41.

$$I_{\text{ІНВ.}} = I_{\text{Мат}} + I_{3-с} + I_{\text{ТР}} + I_{\text{МОНТ}} \quad (3.4)$$

$$I_{\text{ІНВ.}} = 507,1 + 4,7 + 15,21 + 152,1 = 679,11 \text{ тис. грн.}$$

Заносимо отримані результати розрахунків інвестиційних витрат в табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок капітальних витрат за проектом модернізації РП-0,4кВ ПС-41

Розрахунок капітальних витрат	
Направлення витрат	тис. грн.
1. Вартість нового обладнання	507,1
2. Заготівельно-складські витрати	4,7
3. Транспортні витрати	15,21
4. Монтажні роботи	152,1
Капітальні витрати всього	679,11

Визначаємо економічний ефект від використання пристроїв компенсації реактивної потужності. Економічний ефект розраховуємо з урахуванням витрат активної електричної енергії при роботі компенсуючого пристрою, а саме 0,5 Вт при генерації 1 кВАр.



$$B_R = WQ_{Г.Р.} \cdot T_Q + WP_{КУ} \cdot T_P \quad (3.5)$$

де $WQ_{Г.Р.}$ – обсяг генерації реактивної потужності за 1 рік, кВАр*год;

T_Q – вартість (тариф) реактивної електричної енергії, грн./кВАр*год.;

$WP_{КУ}$ – обсяг споживання активної потужності за 1 рік при роботі пристроїв компенсації реактивної потужності, кВт*год;

T_P – вартість (тариф) активної електричної енергії, грн./кВт*год.

Річний економічний ефект від компенсації реактивної потужності визначається як різниця між витратами на оплату перетікань реактивної електроенергії до впровадження компенсуючих пристроїв та витратами на покриття власних втрат цих пристроїв:

$$B_R = 1\,146\,137 \cdot 0,185 - 573 \cdot 7,0548 = 207\,992,9 \text{ грн.} = 207,99 \text{ тис. грн.}$$

де:

- 1146 137кВАр·год/рік – річний обсяг скомпенсованої реактивної електроенергії, визначений як добовий обсяг перетікань реактивної енергії 3140,1 кВАр (див. табл. 2.2):

$$3140,1 \cdot 365 = 1\,146\,137 \text{ кВАр,}$$

- 0,185 грн/кВАр·год – тариф на оплату перетікань реактивної електроенергії (18,5 коп./кВАр);

- 573 кВт/рік – річне споживання активної електроенергії компенсуючою установкою на покриття власних втрат, визначене за питомими втратами 0,5 Вт на 1 кВАр скомпенсованої реактивної енергії:

$$\frac{1146137 \cdot 0,5}{1000} = 573 \text{ кВт/рік}$$

- 7,0548 грн/(кВт·год) – тариф на активну електроенергію для підприємства;

Визначаємо економічний ефект від зменшення витрат на обслуговування комутаційної апаратури за рахунок зменшення кількості контактних з'єднань та необхідності періодичного регулювання ножів рубильника.

$$B_{\text{обсл.}} = 2 \cdot (W_{\text{К.з.}} \cdot t_{\text{К.з.}} \cdot T_{\text{Зп}} + W_{\text{Руб.}} \cdot t_{\text{Руб.}} \cdot T_{\text{Зп}}) \quad (3.6)$$

де 2 – кількість технічних обслуговувань комутаційної апаратури на рік згідно до Графіку ППР;

$W_{\text{К.з.}}$ – кількість зменшення контактних з'єднань в РП-0,4кВ ПС-41 після модернізації, од.;



$t_{к.з.}$ – час технічного обслуговування контактної з'єднання (очистка, обтяжка та ін), год./од;

$W_{руб.}$ – кількість демонтованих рубильників в РП-0,4кВ ПС-41 після модернізації, од.;

$t_{руб.}$ – час технічного обслуговування рубильника (очистка, обтяжка, регулювання ножів, губок та ін), год./од;

$T_{зп}$ – середня заробітна плата електромонтера з ремонту електроустаткування, грн./год.

$$B_{обсл} = 2 \cdot (28 \cdot 0,1 \cdot 324 + 20 \cdot 0,15 \cdot 324) = 3758,4 \text{ грн.} = 3,8 \text{ тис. грн.}$$

Загальний економічний ефект від модернізації РП-0,4 кВ ПС-41.

$$B = B_R + B_{обсл} + \Delta B_{\Delta A} \quad (3.7)$$

$$B = 207,99 + 3,8 + 19,55 = 231,34 \text{ тис. грн.}$$

Заносимо отримані результати розрахунків інвестиційних витрат в табл.3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок економічного ефекту за проектом модернізації РП-0,4кВ ПС-41

Розрахунок економічного ефекту	
Вид економічного ефекту	тис. грн.
1. Економічний ефект від компенсації реактивної потужності	207,99
2. Економічний ефект від зменшення витрат на обслуговування	3,8
3. Економічний ефект від зменшення вартості витрат електричної енергії	19,55
Економічний ефект, всього	231,34

Коефіцієнт дисконтування визначається за наступною умовою

$$k_i = \frac{1}{(1 + i)^t} \quad (3.8)$$

де i – ставка дисконтування. В 2026 р. згідно даних Національного банку України облікова ставка дорівнює 15,0% [21];

t – порядковий номер року розрахунку.

Визначаємо чисту приведену вартість – NPV



$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - I = \sum_{t=1}^n B_t \cdot k_i - I \quad (3.9)$$

Період розрахунку складає 10 років після реалізації проекту модернізації РП-0,4кВ ПС-41. Заносимо отримані результати розрахунків коефіцієнту дисконтування та NPV в табл.4.2

$$NPV = 231,34 \cdot 0,8696 + 231,34 \cdot 0,7561 + 231,34 \cdot 0,6575 + 231,34 \cdot 0,5718 + 231,34 \cdot 0,4972 + 231,34 \cdot 0,4323 + 231,34 \cdot 0,3759 + 231,34 \cdot 0,3269 + 231,34 \cdot 0,2843 + 231,34 \cdot 0,2472 - 679,11 = 481,95$$

Заносимо отримані результати розрахунків коефіцієнту дисконтування та NPV в табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок чистої приведеної вартості після реалізації проекту модернізації РП-0,4кВ ПС-41

Рік	Витрати, тис. грн.	Заощадження, тис. грн.	Грошовий потік, тис. грн.	Коефіцієнт дисконтування	Дисконтований грошовий потік, тис.грн.
2026	679,11	0	(679,11)	1	(679,11)
2027		231,34	231,34	0,8696	201,17
2028		231,34	231,34	0,7561	174,92
2029		231,34	231,34	0,6575	152,11
2030		231,34	231,34	0,5718	132,28
2031		231,34	231,34	0,4972	115,02
2032		231,34	231,34	0,4323	100,01
2033		231,34	231,34	0,3759	86,96
2034		231,34	231,34	0,3269	75,63
2035		231,34	231,34	0,2843	65,77
2036		231,34	231,34	0,2472	57,19
NPV = 481,95					

Для даного проекту модернізації РП-0,4 кВ ПС-41 із заміною рубильників-запобіжників на автоматичні вимикачі та встановленням пристроїв компенсації реактивної потужності чиста приведена вартість NPV = 481,95 тис. грн.

Якщо чиста приведена вартість проекту виявляється більше нуля, то проект приймається. Результати розрахунків підтверджують необхідність реалізації даного проекту.



4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ У ПРЕДМЕТНІЙ ОБЛАСТІ

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації та обслуговуванні підстанції 6/0,4 кВ

Експлуатація та технічне обслуговування підстанції 6/0,4 кВ пов'язані з дією небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть призвести до травмування персоналу, професійних захворювань, аварійних ситуацій та пошкодження обладнання. Тому забезпечення безпечних умов праці є одним із головних завдань під час роботи електротехнічного персоналу.

Основним небезпечним фактором є дія електричного струму. Під час обслуговування комутаційних апаратів, трансформаторів, шинопроводів та кабельних ліній існує ризик ураження електричним струмом при дотику до струмовідних частин, що перебувають під напругою. Особливо небезпечними є роботи у розподільчих пристроях 6 кВ, де можливе виникнення електричної дуги. Ураження електричним струмом може спричинити опіки, судоми, порушення роботи серця або смертельний наслідок.[22]

Для запобігання ураженню електричним струмом застосовують:

- захисне заземлення обладнання;
- занулення металевих корпусів;
- блокування та попереджувальну сигналізацію;
- використання діелектричних рукавиць, ботів, килимків та ізолюючого інструменту;
- оформлення наряду-допуску та виконання організаційних заходів безпеки.

При роботі на підстанції існує небезпека виникнення коротких замикань та електричної дуги. Унаслідок цього можуть виникати значні теплові виділення, пожежі та вибухи трансформаторного масла. Причинами можуть бути пошкодження ізоляції, помилки персоналу або перенапруги в мережі. Для зменшення ризику використовують автоматичні вимикачі, релейний захист, системи пожежогасіння та регулярний контроль стану ізоляції.

Одним із шкідливих факторів є підвищений рівень електромагнітних полів, які створюються силовими трансформаторами та струмовідними частинами. Тривалий вплив електромагнітного поля може негативно впливати на нервову та серцево-судинну систему людини. Для зниження впливу необхідно обмежувати час перебування персоналу біля обладнання, що працює під навантаженням, та дотримуватись нормативних відстаней.

Під час роботи трансформаторів і вентиляційного обладнання виникає підвищений рівень шуму та вібрації. Тривалий вплив шуму призводить до втоми, зниження концентрації уваги та погіршення слуху.



Для захисту працівників використовують засоби індивідуального захисту органів слуху та забезпечують належний технічний стан обладнання.

У приміщеннях підстанції також можуть виникати несприятливі метеорологічні умови: підвищена температура, недостатня вентиляція та вологість. Це погіршує самопочуття працівників і може впливати на роботу електрообладнання. Для підтримання нормальних умов праці застосовують системи вентиляції, опалення та освітлення.

Небезпечним фактором є можливість падіння з висоти під час обслуговування шинних мостів, кабельних конструкцій або освітлювальних приладів. Для виконання таких робіт необхідно використовувати справні драбини, запобіжні пояси та дотримуватись вимог охорони праці.

Особливу увагу приділяють пожежній безпеці. На підстанції можуть використовуватись маслonaповнені трансформатори, кабелі та ізоляційні матеріали, що є пожежонебезпечними. Для запобігання пожежам встановлюють первинні засоби пожежогасіння, пожежну сигналізацію та виконують регулярні перевірки електрообладнання.

Важливим заходом забезпечення безпеки праці є навчання та перевірка знань персоналу з правил технічної експлуатації електроустановок і правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Працівники повинні проходити інструктажі, медичні огляди та мати відповідну групу з електробезпеки.

Отже, експлуатація та обслуговування підстанції 6/0,4 кВ супроводжується впливом ряду небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Дотримання вимог охорони праці, використання сучасних засобів захисту та правильна організація робіт забезпечують безпечні умови праці персоналу та надійну роботу електрообладнання.

4.2 Заходи з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки під час монтажу та обслуговування модернізованого електрообладнання

Під час монтажу та експлуатації модернізованого електрообладнання підстанції 6/0,4 кВ необхідно забезпечити безпечні умови праці персоналу відповідно до вимог охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки. Основною метою є запобігання травматизму, аваріям, пожежам та пошкодженню обладнання.[23]

До виконання монтажних та налагоджувальних робіт допускаються працівники, які пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктажі, навчання з охорони праці, перевірку знань правил безпечної експлуатації електроустановок і мають відповідну групу з електробезпеки.

Роботи в електроустановках понад 1000 В повинні виконуватись за нарядом-допуском не менше ніж двома працівниками.

Перед початком робіт необхідно виконати організаційні та технічні заходи безпеки:

- оформити наряд-допуск;

- 
- відключити електрообладнання від джерела живлення;
 - вивісити попереджувальні плакати;
 - перевірити відсутність напруги;
 - встановити переносні заземлення;
 - огородити робоче місце.

Для захисту працівників від ураження електричним струмом усі металеві неструмовідні частини електрообладнання повинні бути приєднані до контуру захисного заземлення. Опір заземлювального пристрою має відповідати вимогам ПУЕ та забезпечувати безпечне значення напруги дотику.

Під час монтажу та обслуговування електрообладнання персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавиці; діелектричне взуття; захисні каски; окуляри; ізолюючий інструмент; переносні заземлення; діелектричні килимки.

Для безпечної експлуатації модернізованого обладнання передбачаються: автоматичні вимикачі для захисту від коротких замикань та перевантажень; релейний захист і автоматика; блокування помилкових операцій; світлова сигналізація; система аварійного відключення.

Під час проведення монтажних робіт необхідно контролювати справність вантажопідіймальних механізмів, драбин та ручного електроінструменту. Переносний електроінструмент повинен мати справну ізоляцію та живлення від мережі з відповідним захистом.

Особлива увага приділяється пожежній безпеці, оскільки на підстанції можливе загоряння кабельної ізоляції, трансформаторного масла або електричної дуги при короткому замиканні. Для запобігання пожежам необхідно: дотримуватись правил експлуатації електрообладнання; не допускати перевантаження мереж; регулярно перевіряти стан контактних з'єднань; контролювати температуру обладнання; підтримувати справність систем вентиляції.

Приміщення підстанції повинно бути оснащене первинними засобами пожежогасіння: вуглекислотними вогнегасниками; порошковими вогнегасниками; пожежним інвентарем; засобами пожежної сигналізації.

У разі виникнення аварійної ситуації або пожежі персонал повинен негайно відключити електрообладнання, повідомити відповідальні служби та діяти відповідно до плану ліквідації аварійних ситуацій.

4.3 Заходи з електробезпеки під час експлуатації підстанції 6/0,4 кВ

Електробезпека є одним із найважливіших напрямків охорони праці під час експлуатації електроустановок. Підстанція 6/0,4 кВ належить до електроустановок підвищеної небезпеки, оскільки її обладнання перебуває під напругою до 6 кВ, а можливі струми короткого замикання досягають значних величин.

Для забезпечення електробезпеки на підстанції №41 застосовується комплекс організаційних та технічних заходів. До технічних заходів



належать захисне заземлення металевих корпусів обладнання, занулення електроустановок напругою 0,4 кВ, використання ізолюючих огорожень, блокувань, попереджувальних плакатів і знаків безпеки.[24]

Усі металеві неструмовідні частини трансформаторів, розподільчих пристроїв, шаф керування та конденсаторних установок повинні бути приєднані до контуру заземлення підприємства. Опір заземлювального пристрою повинен відповідати вимогам ПУЕ та забезпечувати безпечні значення напруги дотику і кроку.

Особлива увага приділяється застосуванню засобів індивідуального захисту. Під час виконання робіт в електроустановках персонал повинен використовувати:

- діелектричні рукавиці;
- діелектричні боти;
- діелектричні килимки;
- захисні каски;
- захисні окуляри;
- ізолюючий інструмент;
- переносні заземлення;
- покажчики напруги.

Перед початком роботи всі засоби захисту повинні проходити періодичні випробування та перевірку справності.

Особливу небезпеку під час експлуатації підстанції становить електрична дуга. При виникненні короткого замикання температура дуги може досягати кількох тисяч градусів, що призводить до важких опіків персоналу та пошкодження обладнання. Для зниження ризику необхідно використовувати сучасні автоматичні вимикачі з мінімальним часом відключення аварійних режимів, а також дотримуватися безпечних відстаней до струмовідних частин.

Під час виконання оперативних перемикань персонал повинен діяти відповідно до затверджених оперативних схем та інструкцій. Усі перемикання необхідно виконувати у встановленій послідовності з обов'язковою фіксацією в оперативному журналі. Навчання та перевірка знань з електробезпеки проводяться відповідно до вимог чинних нормативних документів. Працівники повинні мати відповідну групу з електробезпеки: оперативний персонал – не нижче IV групи, керівники робіт – не нижче V групи.

4.4 Організація безпечного виконання робіт на підстанції

Важливим елементом організації безпечного виконання робіт є планування робочого місця. Перед початком робіт необхідно забезпечити достатнє освітлення, вільні проходи до обладнання та можливість швидкої евакуації персоналу у разі виникнення аварійної ситуації. Робоче місце повинно бути очищене від сторонніх предметів, які можуть перешкоджати виконанню робіт або створювати додаткову небезпеку.



Під час виконання ремонтних робіт на трансформаторах, розподільчих пристроях та кабельних лініях необхідно забезпечувати постійний контроль з боку відповідального керівника робіт. Він здійснює нагляд за дотриманням вимог охорони праці, правильністю використання засобів захисту та виконанням передбачених нарядом заходів безпеки. Особлива увага приділяється роботам у замкнених приміщеннях підстанції. Перед початком робіт перевіряється справність вентиляції, освітлення та засобів зв'язку. У разі виконання робіт кількома працівниками повинна забезпечуватися постійна можливість візуального або голосового контакту між членами бригади. Для попередження нещасних випадків необхідно регулярно проводити інструктажі з охорони праці та протиаварійні тренування. Працівники повинні знати порядок дій при ураженні електричним струмом, виникненні пожежі, відмові обладнання або інших аварійних ситуаціях. Періодичне відпрацювання таких дій дозволяє скоротити час реагування та знизити ризик тяжких наслідків.[25]

На підприємстві повинна функціонувати система контролю стану охорони праці. Вона включає проведення планових та позапланових перевірок робочих місць, контроль справності засобів захисту, аналіз причин аварій і порушень, а також розроблення заходів щодо їх недопущення в майбутньому. Ефективним напрямом підвищення безпеки є впровадження сучасних цифрових засобів моніторингу. Використання систем дистанційного контролю струмів навантаження, температури контактних з'єднань та стану електрообладнання дозволяє своєчасно виявляти несправності без безпосереднього контакту персоналу зі струмовідними частинами. Це сприяє зменшенню ризику травматизму та підвищенню надійності експлуатації підстанції. Після завершення робіт виконавець зобов'язаний перевірити якість виконаних операцій, прибрати інструмент та матеріали, переконатися у відсутності сторонніх предметів у зоні обслуговування обладнання та доповісти про готовність електроустановки до введення в роботу. Лише після цього допускається відновлення нормальної схеми електропостачання та подача напруги на обладнання.

Безпечне виконання робіт на підстанції забезпечується правильною організацією праці та суворим дотриманням вимог нормативних документів з охорони праці. Роботи в електроустановках виконуються за нарядом-допуском, розпорядженням або в порядку поточної експлуатації. Найбільш відповідальні роботи на підстанції виконуються за нарядом-допуском, у якому визначаються місце роботи, склад бригади, заходи безпеки та відповідальні особи.

До складу бригади призначаються:

- особа, яка видає наряд;
- відповідальний керівник робіт;
- допускатч;
- виконавець робіт;



- члени бригади.

Перед початком робіт виконуються такі технічні заходи:

- 1) відключення необхідного обладнання;
- 2) запобігання помилковому поданню напруги;
- 3) перевірка відсутності напруги;
- 4) встановлення переносних заземлень;
- 5) вивішування заборонних та попереджувальних плакатів;
- 6) огороження робочого місця.

Після завершення робіт проводиться перевірка відсутності сторонніх предметів, інструменту та персоналу в зоні виконання робіт. Лише після цього допускається зняття заземлень та подача напруги.

Особливу увагу необхідно приділяти роботам поблизу струмовідних частин, що перебувають під напругою. У таких випадках повинні застосовуватись додаткові захисні огороження та здійснюватися постійний нагляд відповідального керівника робіт.

Таким чином, правильна організація робіт, постійний контроль за дотриманням вимог безпеки, застосування сучасних засобів захисту та належна підготовка персоналу є основними умовами безпечної та надійної експлуатації підстанції 6/0,4 кВ.



ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності роботи підстанції 6/0,4 кВ цеху ремонту електрообладнання. Проведений аналіз існуючої системи електропостачання показав, що основними причинами зниження ефективності роботи підстанції є значне споживання реактивної потужності, підвищені втрати електричної енергії в елементах мережі, а також використання морально застарілих апаратів захисту на стороні 0,4 кВ.

На підставі проведених розрахунків для компенсації реактивної потужності запропоновано встановлення двох автоматичних конденсаторних установок типу УКРМ 0.4-100/4-10 сумарною потужністю 200 кВАр. Впровадження даного заходу дозволяє практично повністю компенсувати реактивну потужність навантаження, підвищити коефіцієнт потужності до значення, близького до одиниці, та зменшити повне навантаження на силовий трансформатор на 14,67 %.

У роботі також обґрунтовано необхідність заміни існуючих плавких запобіжників типу ПР-2 на сучасні автоматичні вимикачі, що забезпечують необхідний рівень селективності захисту, підвищують надійність електропостачання та скорочують час ліквідації аварійних режимів. Реалізація цього заходу сприятиме підвищенню безпеки експлуатації електрообладнання та покращенню умов праці обслуговуючого персоналу.

Виконана оцінка ефективності запропонованих заходів показала, що компенсація реактивної потужності забезпечує зниження втрат електричної енергії в кабельних лініях і трансформаторах, зменшення навантаження на елементи системи електропостачання та підвищення пропускної здатності мережі. Це дозволяє підвищити енергоефективність роботи підстанції та знизити експлуатаційні витрати підприємства.

Таким чином, впровадження запропонованих технічних рішень дозволить підвищити ефективність роботи підстанції ПС-41, зменшити втрати електричної енергії, покращити якість електропостачання споживачів, підвищити надійність роботи обладнання та забезпечити економічно доцільну експлуатацію системи електропостачання цеху ремонту електрообладнання.

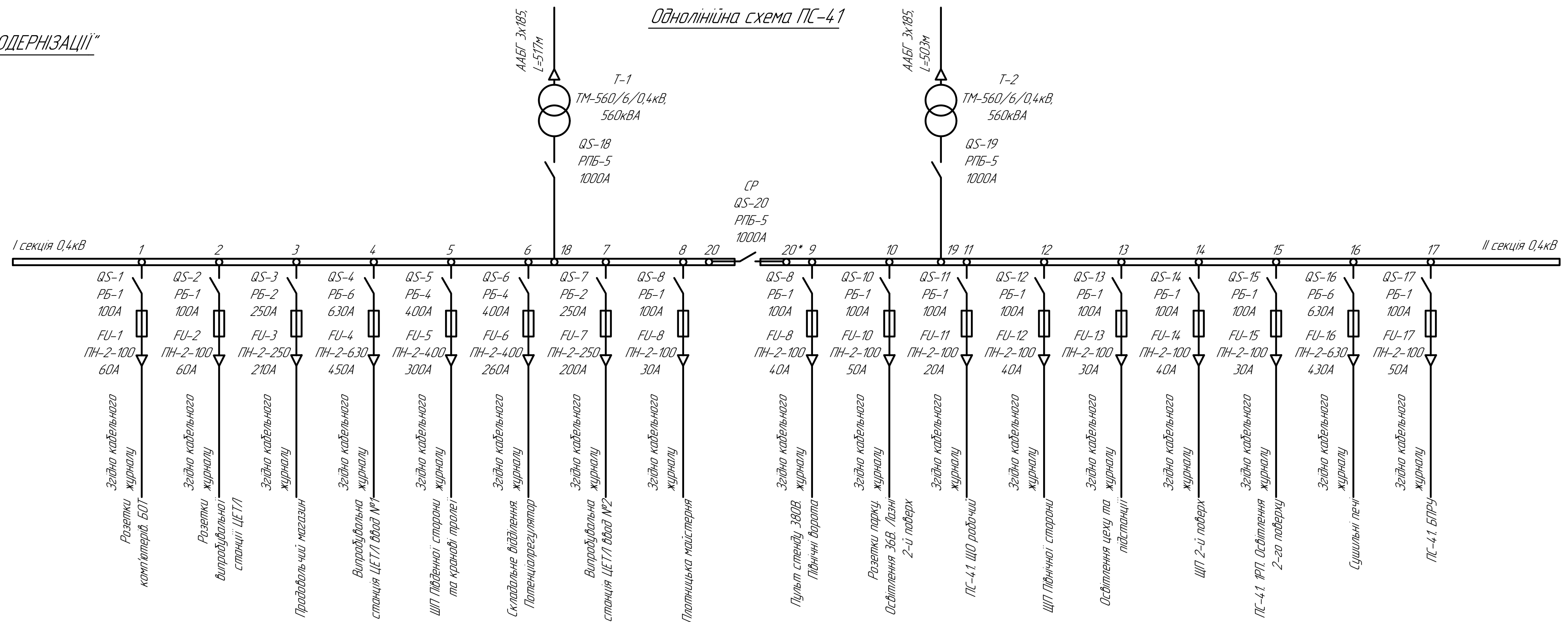


ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

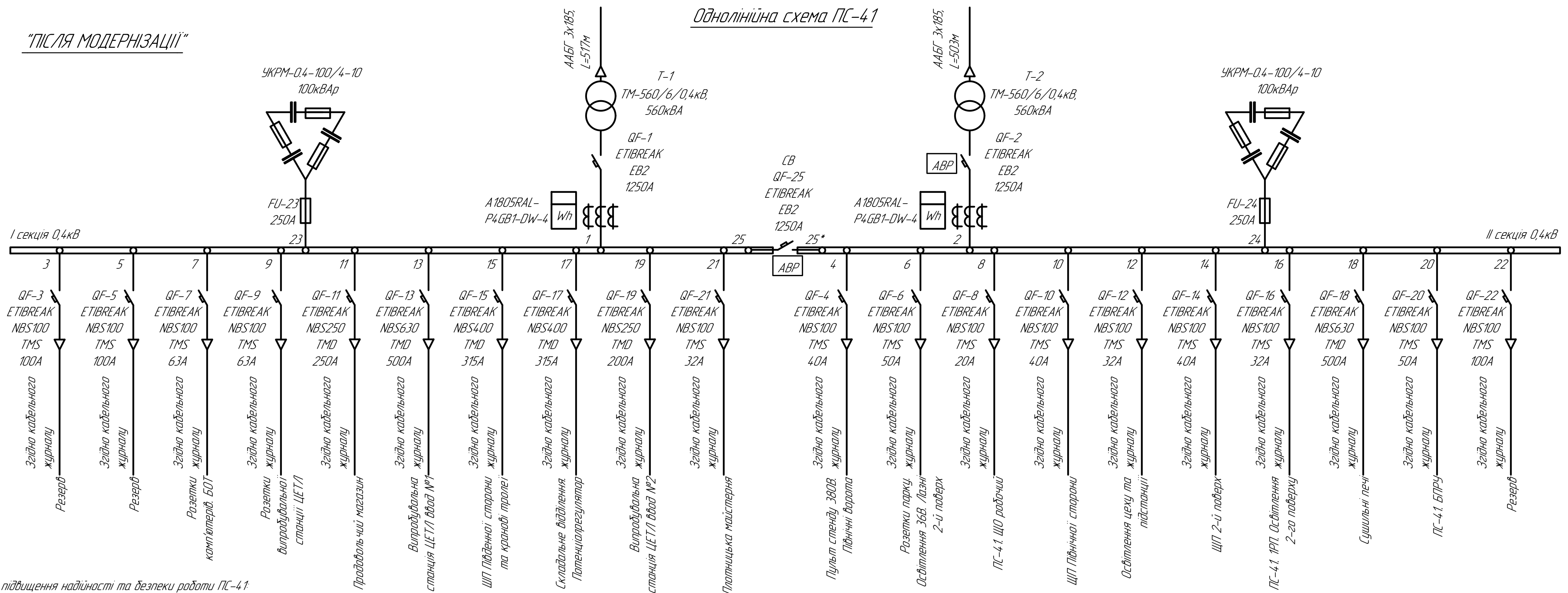
1. Кузьмін О. В., Сегеда М. С. Електропостачання промислових підприємств. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. 540 с.
2. Коцур М. І., Биков О. О. Електричні станції та підстанції. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 410 с.
3. Болюх В. Ф., Бурлака В. В. Електричні апарати та розподільні пристрої. Харків : НТУ «ХПІ», 2021. 320 с.
4. Болюх В. Ф. Електропостачання промислових підприємств. Харків : НТУ «ХПІ», 2020.
5. Кузнецов В. Г. Електропостачання промислових підприємств. Київ : Каравела, 2021.
6. Національний університет «Львівська політехніка». Наукові праці з енергоефективності систем електропостачання, 2022–2024.
7. Денисюк С. П. Енергозбереження та енергоменеджмент в електроенергетиці. Київ, 2021.
8. Технічні рішення з компенсації реактивної потужності. Schneider Electric Україна. URL: <https://www.se.com/ua/uk> (дата звернення: 16.06.2026).
9. Давиденко Л. В., Коменда Н. В., Давиденко В. А., Євсюк М. М. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум : навч. посіб. Луцьк : Луцький національний технічний університет, 2022.
10. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ, 2015.
11. Шкрабець Ф. П. Основи електропостачання промислових підприємств. Дніпро, 2012.
12. Мілих В. І. Електропостачання промислових підприємств. Харків, 2016.
13. Типи автоматичних вимикачів та особливості їх вибору. NIKA ELECTRO, 2025.
14. Технічні дані комплектних конденсаторних установок напругою до 1 кВ. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/elektroshhitovoe-oborudovanie/kondensatornye-ustanovki-aku-04> (дата звернення: 16.06.2026).
15. Технічні дані комплектних конденсаторних установок напругою до 1 кВ. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/spravochnaya-informaciya/sravnitel'naya-xarakteristika-kondensatornyx-ustanovok> (дата звернення: 16.06.2026).
16. ETI General Catalogue. URL: https://www.eti.ua/images/userfiles/uk-UA/documents/products/Catalogues/000_general_catalog/actual_groups/ETIB REAK.pdf (дата звернення: 16.06.2026).
17. Бориченко О. В. Енергетичний менеджмент: бізнес-план проекту з енергоефективності. Розрахункова робота : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.

- 
18. Прайс-каталог «ELECTRO GURT» ETI. URL: https://electrogurt.store/ru/avtomaticheskij-vyklyuchatel-eti-004672230-eb2-12503le-1250a-3p-50ka296143?gclid=EAlaIQobChMIn5z_6MD1IAMVZFWRBR0VdTaaEAQYA_SABEgLwe_D_BwE (дата звернення: 16.06.2026).
19. Прайс-каталог «ЗахідЕлком» ETI. URL: <https://eti-shop.com/ru/product/korpusnyy-avtomaticheskij-vyklyuchatel-nbs-tmd-250-3l-200a-3-polyusa-36ka-eti-004673071> (дата звернення: 16.06.2026).
20. Кошторисні норми України. Настанова з визначення вартості будівництва з урахуванням змін № 1, № 2, № 3, № 4, № 5.
21. Облікова ставка Національного банку : електронний ресурс. URL: <https://bank.gov.ua/ua/monetary/stages/archive-rish> (дата звернення: 16.06.2026).
22. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. Відомості Верховної Ради України. 1992. № 49. Ст. 668.
23. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : НПАОП 40.1-1.21-98. Київ, 1998. С. 15–28, 45–53.
24. ДСТУ EN 61140:2015. Захист від ураження електричним струмом. Загальні положення безпеки установок і обладнання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. С. 8–21.
25. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

"ДО МОДЕРНІЗАЦІЇ"



"ПІСЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ"



Електротехнічні рішення кваліфікаційної роботи – підвищення надійності та безпеки роботи ПС-41:

- заміна застарілих рубильників із запобіжниками на сучасні автоматичні вимикачі;
- використання однотипних автоматичних вимикачів;
- одлаштування резервних присідань;
- модернізація систем релейного захисту;
- втілення АВР на секційному вимикачі та вводі №2;
- встановлення пристроїв контролю навантаження;
- впровадження сучасних засобів обліку електроенергії з інтеграцією до системи АСТОЕ;
- впровадження компенсації реактивної потужності.

						АВЕРС.КРБ12527035.ЕТР-4Д		
						Цех ремонту електрообладнання		
						ПС-41		
						Сталля	Аркуш	Аркушів
						Н	2	1
						Однолінійна схема електропостачання		
						ТОВ "У МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА" ФАВІТ АВЕРС ЕІ-23-Ін 2026		