

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент Чепіжний А.В.

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ
за першим бакалаврським рівнем вищої освіти

На тему: «Реконструкція трансформаторної підстанції РТП 110/10 кВ «Заводська» АТ «Сумиобленерго» з розробкою питання модернізації розподільчого пристрою 10 кВ»

Виконав

_____ (підпис)

Гайдар А. М.
(прізвище, ініціали)

Група

ГЕЕ 2201 с.т.

Керівник:

_____ (підпис)

Савойський О. Ю.
(прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент _____ Чепіжний А.В.
(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Гайдару Анатолію Михайловичу
(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема (бакалаврського) проекту: «Реконструкція трансформаторної підстанції РТП 110/10 кВ «Заводська» АТ «Сумиобленерго» з розробкою питання модернізації розподільчого пристрою 10 кВ»

керівник проекту: *Савойський Олександр Юрійович, старший викладач*
затверджено наказом по університету від «27» березня 2024 р. № 912/ОС.

2. Термін подання здобувачем закінченого проекту «20» травня 2024 р.

3. Вихідні дані до проекту Матеріали обстеження об'єкту, технічна література, нормативна документація, державні стандарти.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)

Вступ.

1. Коротка характеристика РТП 110/10 кВ «Заводська»

2. Обґрунтування, вибір та перевірка обладнання підстанції напругою 110 кВ

3. Обґрунтування, вибір та перевірка обладнання для модернізації розподільчого пристрою 10 кВ

4. Охорона праці

5. Екологія

6. Економічне обґрунтування

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точною вказівкою обов'язкових креслень)

1. РТП 110/10 кВ «Заводська». Кола первинної комутації. Схема електрична принципова.

2. РТП 110/10 кВ «Заводська». Креслення загального виду.

3. РТП 110/10 кВ «Заводська». РП 10 кВ. Схема електрична об'єднана.

4. Вимикач вакуумний ВВ/TEL-10. Креслення загального виду.

5. Вимикач вакуумний ВВ/TEL-10. Креслення монтажне.

6. Показники техніко-економічні. Таблиця.

6. Консультанти розділів проекту (з вказівкою розділів, що відносяться до проекту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
Охорона праці		
Економічне обґрунтування		
Нормоконтроль		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційного проекту	Строк виконання етапів кваліфікаційного проекту	Примітки
1	Збір інформації про діяльність господарства	05.09.2023 р. – 30.09.2023 р.	
2	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	02.10.2023 р. – 02.12.2023 р.	
3	Складання плану роботи	04.12.2023 р. – 09.12.2023 р.	
4	Написання вступу та розділу 1	11.12.2023 р. – 21.12.2023 р.	
4	Написання розділів 2 та 3. Підготовка листів 1 та 2 графічної частини.	05.02.2024 р. – 02.03.2024 р.	
5	Написання розділів 4 та 5. Підготовка листів 3, 4 та 5 графічної частини.	04.03.2024 р. – 06.04.2024 р.	
6	Написання розділу 6. Підготовка листа 6 графічної частини.	08.04.2024 р. – 04.05.2024 р.	
8	Написання висновків	06.05.2024 р. – 11.05.2024 р.	
9	Подання проекту на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 13.05.2024 р.	
10	Подання проекту на рецензування	до 20.05.2024 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 27.05.2024 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(Гайдар А. М)

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційного проекту

(підпис)

(Савойський О.Ю)

(прізвище, ініціали)

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування			К-ть листів	Номер листа	Примітки		
1	A4	КП.06.3.001.ПЗ	Реконструкція трансформаторної			63	3			
2			підстанції РТП 110/10 кВ «Заводська»							
3			АТ «Сумиобленерго» з розробкою							
4			питання модернізації розподільчого							
5			пристрою 10 кВ.							
6			Кваліфікаційний проект.							
7			Пояснювальна записка.							
8	A1	КП.06.3.001.ЕЗ	РТП 110/10 кВ «Заводська».			1	1			
9			Кола первинної комутації.							
10			Схема електрична принципова.							
11	A1	КП.06.3.001.ВЗ	РТП 110/10 кВ «Заводська».			1	2			
12			Креслення загального виду.							
13	A1	КП.06.3.001.Е0	РТП 110/10 кВ «Заводська». РП 10 кВ.			1	3			
14			Схема електрична об'єднана.							
15	A1	КП.06.3.001.ВЗ	Вимикач вакуумний ВВ/TEL-10.			1	4			
16			Креслення загального виду.							
17	A1	КП.06.3.001.МК	Вимикач вакуумний ВВ/TEL-10.			1	5			
18			Креслення монтажне.							
19	A1	КП.06.3.001.ТБ	Показники техніко-економічні.			1	6			
20			Таблиця.							
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
			КП.06.3.001.ТП							
Зм.	Лист	№ документа	Під-пис	Да-та	Відомість проекту					
Розробив	Гайдар							Літ	Лист	Листів
Перевірив	Савойський							i	3	63
Н.контр.	Рибенко							СНАУ, гр. ГЕЕ 2101 с.г.		
Затверд.	Чепіжний									

РЕФЕРАТ

Реконструкція трансформаторної підстанції РТП 110/10 кВ «Заводська» АТ «Сумиобленерго» з розробкою питання модернізації розподільчого пристрою 10 кВ. Кваліфікаційний проект / Гайдар Анатолій Михайлович – Суми.: СНАУ, 2024 р. – 63 с.

Кваліфікаційний проект присвячено питанню реконструкції трансформаторної підстанції РТП 110/10 кВ «Заводська» АТ «Сумиобленерго» з розробкою питання модернізації розподільчого пристрою 10 кВ. з метою підвищення надійності та якості електропостачання промислових та побутових споживачів.

На підстанції встановлено два трансформатори потужністю 10 МВА кожен типу ТДН-10000/110 з вбудованими трансформаторами струму та можливістю регулювання напруги під навантаженням.

Вибрані вимикачі, роз'єднувачі, вимірювальні трансформатори напруги та струму. Розраховано та обрано мікропроцесорну систему релейного захисту і автоматики силових трансформаторів.

Чималу увагу приділено модернізації РП 10 кВ. При виборі електрообладнання, розглядалися різні типи обладнання і вибрані ті, що задовольняють як в нормальному, так і в аварійному режимах.

Були розглянуто питання охорони праці та екології. Запропоновано заходи щодо забезпечення безпеки при виконанні робіт та зменшення техногенного впливу на навколишнє середовище.

Виконано економічне обґрунтування проекту.

Ключові слова: трансформаторна підстанція, розподільчий пристрій 10 кВ, вимикач, роз'єднувач, кола первинної комутації, контур заземлення, грозозахист.

Ілл. 10

Табл. 14

Бібл. 20

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА РТП 110/10 КВ «ЗАВОДСЬКА»	9
1.1. Загальні відомості	9
1.2. Аналіз існуючої схеми РТП 110/10 кВ «Заводська»	10
1.3. Висновки та пропозиції	11
2. ОБҐРУНТУВАННЯ, ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ОБЛАДНАННЯ ПІДСТАНЦІ НАПРУГОЮ 110 КВ	12
2.1. Аналіз типових рішень та компоновки обладнання підстанції 110/10 кВ	12
2.2. Вибір вимикачів зі сторони високої напруги 110 кВ	13
2.3. Вибір роз'єднувачів 110 кВ.....	19
2.4. Обґрунтування та вибір обмежувачів перенапруг зі сторони 110 кВ ...	21
2.5. Вибір та розрахунок параметрів захисту силових трансформаторів	22
2.5.1. Диференційний захист силових двообмоткових трансформаторів.	24
2.5.2. Обґрунтування вибору мікропроцесорного пристрою диференційного захисту силового трансформатора	29
2.5.3. Розрахунок параметрів спрацювання диференційного реле серії RET 650	31
2.5.4. Розрахунок параметрів спрацювання резервного захисту	36
2.5.5. Складання керування вимикачем 110 кВ на основі реле RET 650..	38
4. ОБҐРУНТУВАННЯ, ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛЬЧОГО ПРИСТРОЮ 10 КВ	40
3.1. Призначення розподільчого пункту 10 кВ підстанції.....	40
3.2. Вибір вимикачів зі сторони 10 кВ	41
3.3. Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги	44

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

3.3.1. Вибір трансформаторів струму	45
3.3.2. Вибір трансформаторів напруги	46
3.4. Обґрунтування та вибір обмежувачів перенапруг зі сторони 10 кВ	48
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	49
5. ЕКОЛОГІЯ	53
6. ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ.....	56
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	61

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Реконструкція трансформаторної підстанції РТП 110/10 кВ «Заводська» АТ «Сумиобленерго» є критично важливим кроком у забезпеченні надійного та безперебійного електропостачання для регіону. Основна мета реконструкції полягає в модернізації інфраструктури підстанції, що дозволить не лише підвищити ефективність її роботи, але й забезпечити відповідність сучасним технічним стандартам і вимогам безпеки. Це, в свою чергу, сприятиме покращенню якості електропостачання для споживачів, зменшенню втрат електроенергії та зниженню ризику аварійних ситуацій.

Одним із ключових аспектів реконструкції є модернізація розподільчого пристрою 10 кВ. Сучасні технології дозволяють значно підвищити надійність та гнучкість системи розподілу електроенергії. Впровадження новітнього обладнання, такого як вакуумні вимикачі, цифрові релейні захисти та автоматизовані системи керування, сприятиме швидкому виявленню та усуненню несправностей, що в кінцевому результаті знижує час простою та підвищує загальну ефективність роботи підстанції.

Крім технічних переваг, реконструкція РТП 110/10 кВ «Заводська» має й економічне значення. Підвищення ефективності роботи підстанції сприятиме зниженню експлуатаційних витрат та втрат електроенергії, що в довгостроковій перспективі призведе до економії коштів як для компанії, так і для споживачів. Це також відкриє можливості для подальшого розвитку промислових підприємств, що залежні від стабільного електропостачання.

Таким чином, реконструкція трансформаторної підстанції РТП 110/10 кВ «Заводська» є важливим кроком для забезпечення надійного, економічного та екологічно безпечного електропостачання в регіоні, що сприятиме його сталому розвитку та підвищенню якості життя населення.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА РТП 110/10 КВ «ЗАВОДСЬКА»

1.1. Загальні відомості

Проектована підстанція РТП 110/10 кВ «Заводська» знаходиться на території м. Суми.

Сумський район знаходиться на північному сході Сумської області України. Клімат тут помірний, з помірно теплим літом і відносно м'якою зимою. Середня температура в липні становить приблизно 20 °С, а в січні – від мінус 12 до мінус 15 °С. Річна кількість опадів складає 450 мм. Щороку спостерігається від 50 до 70 годин грозової активності.

У агропромисловому комплексі району нараховується значна кількість сільськогосподарських підприємств та фермерських господарств. Загальна площа сільськогосподарських угідь, включаючи присадибні господарства, складає 100,3 тисячі гектарів.

У структурі сільськогосподарського виробництва 77,7% припадає на рослинництво, а 22,3% – на тваринництво. Основні напрямки рослинництва – це вирощування зернових та технічних культур, тоді як у тваринництві основну роль відіграють вирощування великої рогатої худоби та свинарство.

Тому реконструкція РТП 110/10 кВ «Заводська» розрахована на забезпечення надійного електропостачання сільськогосподарських споживачів, а також дрібних промислових і побутових споживачів з максимальним використанням вже існуючих ліній 110 і 6 кВ.

Основна схема електричних з'єднань підстанції повинна [1-5]:

- 1) відповідати схемі електропостачання району;
- 2) забезпечувати можливість проведення ремонтних та експлуатаційних робіт;
- 3) враховувати перспективи розвитку мереж на найближчі 5 років.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Аналіз існуючої схеми РТП 110/10 кВ «Заводська»

Підстанція РТП 110/10 кВ «Заводська», побудована в 1976 році, має застаріле обладнання, яке вже вичерпало свій ресурс. На цій підстанції встановлено два трансформатори напругою 110/6 кВ потужністю 10 МВА кожен, типу ТДН-10000/110-У1. Всі відхідні лінії підстанції працюють в умовно замкнутому режимі через наявні мережні перемички з роз'єднувачами. У районі електропостачання знаходяться 66 споживчих підстанцій 6/0,4 кВ.

Помісячний обсяг трансформації електричної енергії на напругу 10 кВ проєктованої РТП за 2023 рік, МВт·год показано на рис. 1.1.

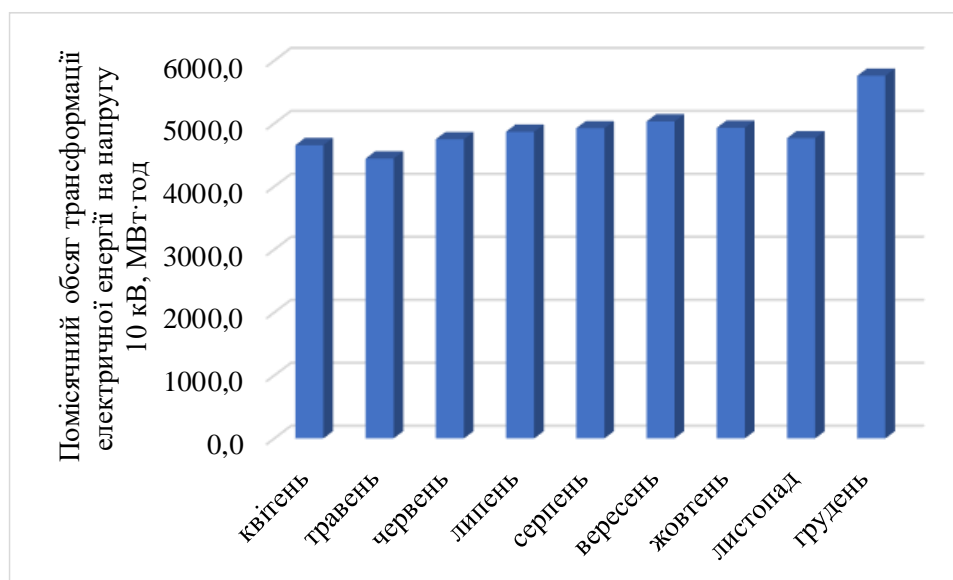


Рис. 1.1. Помісячний обсяг трансформації електричної енергії на напругу 10 кВ на РТП 110/10 кВ «Заводська» за 2023 рік

Через зростання навантаження на деяких лініях останнім часом спостерігається зниження напруги у споживачів. Це відбувається через те, що лінії 6 кВ виконані проводом малих перерізів. Потребують заміни ізоляція повітряних ліній та система захисту від однофазних замикань на землю.

Нинішня схема електропостачання не відповідає вимогам споживачів щодо надійного та якісного електропостачання. Для поліпшення надійності електропостачання споживачів РТП 110/10 кВ «Заводська» необхідно усунути

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наступні недоліки: замінити силове та комутаційне обладнання, яке часто виходить з ладу через вичерпання терміну служби, а також підвищити пропускну спроможність електричних мереж, враховуючи велику довжину ліній 10 кВ.

Оскільки район постійно розвивається і його потреби зростають, необхідно провести реконструкцію електропостачання частини району, приділивши особливу увагу питанням релейного захисту трансформаторів та модернізації розподільчого пункту напругою 10 кВ.

1.3. Висновки та пропозиції

Нинішня схема електропостачання не відповідає вимогам споживачів щодо надійності та якості. Хоча силові трансформатори підстанції знаходяться в задовільному стані та працюють практично без перевантажень, стан комутаційної, захисної та вимірювальної апаратури бажає бути кращим.

Особливо це стосується розподільчого пункту. Насьогодні в РП 10 кВ встановлені масляні вимикачі, які вже давно застаріли та мають низку недоліків, такі як:

- висока вибухо- та пожежонебезпечність;
- високі експлуатаційні витрати;
- велика маса і габарити;
- низька надійність;
- екологічні ризики.

Для підвищення надійності та ефективності роботи розподільчих пунктів варто розглянути можливість заміни масляних вимикачів на сучасніші альтернативи, такі як вакуумні вимикачі, які позбавлені вищезазначених недоліків.

Для цього необхідно провести реконструкцію електропостачання частини району, зосередивши особливу увагу на релейному захисті трансформатора та модернізації розподільчого пункту напругою 10 кВ.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОБҐРУНТУВАННЯ, ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ОБЛАДНАННЯ ПІДСТАНЦІ НАПРУГОЮ 110 КВ

2.1. Аналіз типових рішень та компоновки обладнання підстанції 110/10 кВ

Аналіз типових рішень та компоновки обладнання підстанції 110/10 кВ вимагає врахування багатьох технічних та експлуатаційних аспектів, що забезпечують надійність і ефективність роботи такого об'єкта. Основним елементом підстанції є силові трансформатори, які перетворюють напругу з високого рівня 110 кВ до середнього рівня 10 кВ. Типово використовуються два або більше трансформаторів для забезпечення резервування та підвищення надійності системи [6-9].

Розміщення трансформаторів зазвичай відбувається з урахуванням мінімізації втрат напруги та зручності обслуговування. Трансформатори обладнуються системами охолодження, які можуть бути як масляними, так і повітряними. Вибір системи охолодження залежить від умов експлуатації та навантаження.

На підстанції також встановлюються комутаційні пристрої, такі як вимикачі, роз'єднувачі та трансформатори напруги. Вимикачі забезпечують швидке відключення ліній у разі аварії або необхідності проведення ремонтних робіт. Роз'єднувачі використовуються для розриву електричних кіл, коли необхідно повністю знеструмити певну ділянку. Трансформатори напруги та струму необхідні для вимірювання параметрів електричної енергії та забезпечення коректної роботи релейного захисту [10-12].

Система релейного захисту та автоматики є ключовим елементом підстанції. Вона забезпечує автоматичне відключення пошкоджених ділянок мережі, що значно підвищує надійність та безпеку електропостачання. Сучасні системи захисту зазвичай побудовані на мікропроцесорній основі, що

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

дозволяє впроваджувати складні алгоритми аналізу та діагностики стану мережі.

Підстанція також обладнується системами управління та моніторингу, які дозволяють оперативному персоналу контролювати та керувати всіма процесами, що відбуваються на підстанції. Ці системи включають в себе як локальні панелі управління, так і дистанційні системи SCADA, що дозволяють централізовано керувати підстанцією.

Електричні розподільні пристрої 10 кВ, розташовані на підстанції, здійснюють розподіл електричної енергії між споживачами. Вони можуть бути виконані як у вигляді відкритих розподільних пристроїв, так і у вигляді закритих комплектних розподільних пристроїв (КРП). Закриті пристрої мають переваги у вигляді зменшених габаритів і підвищеної безпеки обслуговування.

Особливу увагу приділяють заземленню підстанції, що забезпечує безпеку роботи персоналу та зменшує ризики пошкодження обладнання під час грозових явищ або інших аварійних ситуацій. Заземлення виконують за допомогою системи заземлювальних провідників, з'єднаних з усіма металевими частинами обладнання [13-16].

Таким чином, проектування та компоновка підстанції 110/10 кВ вимагають ретельного підходу до вибору обладнання, забезпечення його надійної роботи, безпеки та зручності обслуговування. Інтеграція сучасних технологій автоматизації та контролю дозволяє значно підвищити ефективність експлуатації таких об'єктів.

Схеми первинних кіл комутації проектованої РТП та її вид загальний наведено на листах графічної частини №1 та №2 відповідно.

2.2. Вибір вимикачів зі сторони високої напруги 110 кВ

Зі сторони 110 кВ підстанції обираємо до монтажу елегазові вимикачі колонкового типу серії LTB 145D1/B (рис. 2.1). Даний вимикач призначений для комутації електричних кіл високої напруги у номінальному та аварійному

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

режимі функціонування підстанції. Також вимикачі даного типу можуть працювати для роботи циклу автоматичного повторного включення для мереж трифазного змінного струму частотою 50 Гц та напругою 110 кВ.



Рис. 2.1. Елегазовий колонковий вимикач серії LTB 145D1/В з пружинним приводом BLK 222.

Вимикачі серії LTB 145D1/В керуються механізмами керування з моторно-пружинними приводами типу BLK 222, які встановлюються в компактних водозахисних та корозійностійких корпусах, закріплених на опорних конструкціях.

Вибір елегазових вимикачів виконують за наступними типовими умовами [2, 3]:

1) за номінальними напругами мережі:

$$U_{нв} \geq U_{ном}, \quad (2.1)$$

де $U_{нв}$ – максимально можливі робочі напруги вимикача, В;

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

$U_{ном}$ – значення номінальної напруги установки, В.

Виконуємо перевірку виконання умови (2.1) для вимикачів Q1 та Q2 (лист графічної частини №1):

$$126 \text{ кВ} \geq 110 \text{ кВ.}$$

Умова (2.1) виконується.

2) за максимальними робочими струмами:

$$I_{роб.мах.} \leq I_{нв}, \quad (2.2)$$

де $I_{нв}$ – паспортне значення номінального струму елегазового вимикача, А;

$I_{роб.мах.}$ – максимальні струми підстанції на стороні 110 кВ, А.

Виконуємо перевірку виконання умови (2.2) для вимикачів Q1 та Q2 (лист графічної частини №1):

$$70,3 \text{ А} \leq 3150 \text{ А.}$$

Обрані вимикачі задовольняють умову (2.2).

3) за комутаційною здатністю на відключення симетричних струмів короткого замикання:

$$I_n(T) \leq I_{відкл.ном}, \quad (2.3)$$

де $I_n(T)$ – діючі значення періодичної складової струму КЗ в момент часу T в момент розходження дугогасильного контакту. Оскільки в даному випадку цей час є дуже малим, то можемо прийняти що:

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_n(T) = I_{кз}^{(3)} = 5,044 \text{ кА.}$$

Тоді:

$$5,044 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА}$$

Умова (2.3) виконується.

4) за комутаційною здатністю на відключення асиметричних струмів короткого замикання:

$$\left(\sqrt{2} \cdot I_n(T) + i_a(T)\right) \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{відкл.ном}} \cdot (1 + \beta_{\text{ном}}), \quad (2.4)$$

де $i_a(T)$ – аперіодичні складові струмів короткого замикання під час розходження контактів елегазового вимикача, А

Час T дорівнює (час повного відключення вимикача):

$$T = t_{\text{рз.мін.}} + t_{\text{вл.відкл.}}, \quad (2.5)$$

де $t_{\text{рз.мін.}}$ – мінімальний час дії релейного захисту, с; (приймаємо його рівним 3 с);

$t_{\text{вл.відкл.}}$ – власний час відключення вимикача, с; (приймаємо його рівним 0,4 с).

Тоді:

$$T = 3 + 0,4 = 3,4 \text{ с.}$$

Значення аперіодичної складової струму в момент часу T розраховується наступним чином:

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_a(T) = I_n(T) \cdot \exp\left(-\frac{0,01}{T}\right) \quad (2.6)$$

$$i_a(T) = 5,044 \cdot e^{-\frac{0,01}{3,04}} = 5,012 \text{ кА}$$

Тоді (див. вираз (2.4)):

$$(\sqrt{2} \cdot 5,044 + 5,012) \leq \sqrt{2} \cdot 40 \cdot (1 + 0,32);$$

$$1,44 \text{ кА} < 74,6 \text{ кА}.$$

Умова (2.4) виконується.

5) за динамічною стійкістю відповідно до умови:

$$I_{у.} \leq I_{наскр. \text{ мах}} \quad (2.7)$$

Виконуємо перевірку виконання умови (2.7) для вимикачів Q1 та Q2 (лист графічної частини №1):

$$12,86 \text{ кА} \leq 102 \text{ кА}.$$

б) за термічною стійкістю елегазового вимикача:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T \quad (2.8)$$

$$I_T^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА} \cdot \text{с}$$

$$B_{к_роз} = (I_{кз}^3)^2 \cdot (t_{рз.мін.} + t_{вл.відкл.}) \quad (2.9)$$

$$B_{к_роз} = 5,044^2 \cdot (3 + 0,04) = 77,34 \text{ кА} \cdot \text{с}$$

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, умова (2.8) виконується, тому що:

$$77,34 \text{ кА}\cdot\text{с} < 4800 \text{ кА}\cdot\text{с}$$

Таблиця 2.1. Паспортні дані вимикача серії LTB 145D1/B

№	Найменування параметру	Норма
1	Номінальне значення робочої напруги, кВ	110
2	Максимальне значення робочої напруги, кВ	126
3	Номінальний робочий струм, А	3150
4	Номінальне значення струмів відключення, кА	31.5; 40
5	Параметри наскрізного струму КЗ, кА: - найбільший пік; - початкове дійсне значення аперіодичної складової; - струм термічної стійкості (трьох секундний).	80; 102 31.5; 40
6	Параметри струму включення, кА: - найбільший пік; - початкове дійсне значення аперіодичної складової.	80; 102 31.5; 40
7	Струм відключення ненавантаженої лінії, А	50
8	Струм відключення ненавантаженого кабелю	160
9	Струм відключення одної конденсаторної батареї, А	300
10	Особистий час відключення, мс	19-25
11	Повний час відключення, мс	40
12	Особистий час включення, мс	40
13	Мінімальна без струмова пауза при АПВ, с	0,300
14	Нормована випробувальна напруга, кВ: - промислової частоти 50 Гц, 1 хв;	230

	- грозового імпульсу відносно землі і між полюсами; - між розімкнутими контактами.	550 630
15	Номінальний тиск елегазу при 20 °С, МПа (кгс/см ²) - абсолютний; - надлишковий.	0.50 (5.0) 0.40 (4.0)
16	Вага вимикача (повна), кг	1360
17	Вага привода, кг	205
18	Вага елегазу, кг	5.0

2.3. Вибір роз'єднувачів 110 кВ

При виборі роз'єднувачів для підстанції 110/10 кВ необхідно враховувати кілька ключових факторів, які впливають на надійність та ефективність роботи підстанції. Перш за все, важливо визначити номінальну напругу та струм роз'єднувача, щоб вони відповідали параметрам підстанції. Для підстанцій 110/10 кВ типово використовуються роз'єднувачі з номінальною напругою 110 кВ та відповідним струмом навантаження.

Крім номінальних параметрів, слід враховувати умови експлуатації роз'єднувачів, такі як кліматичні умови, наявність агресивних середовищ та механічні навантаження. Наприклад, для районів з високою вологістю або запиленістю рекомендується обирати роз'єднувачі з відповідним захистом корпусу, що запобігає корозії та забезпечує довговічність обладнання.

Також важливо звернути увагу на механізм керування роз'єднувачами. Він повинен бути простим у обслуговуванні, мати високу надійність та можливість дистанційного керування, що особливо актуально для сучасних автоматизованих підстанцій. Системи контролю та діагностики, інтегровані в

роз'єднувачі, можуть значно покращити моніторинг стану обладнання та оперативність реагування на аварійні ситуації.

Необхідно також розглянути параметри, пов'язані з електричною дугою, що виникає при розмиканні ланцюга. Роз'єднувачі повинні мати високу стійкість до дуги та забезпечувати безпечне розмикання та замикання ланцюгів під навантаженням. Це забезпечується за допомогою спеціальних дугогасильних камер або інших технологій, що знижують ризик пошкодження обладнання та підвищують безпеку експлуатації.

Вибір конкретного типу роз'єднувачів також може залежати від конструктивних особливостей підстанції та схеми її електричних з'єднань. Наприклад, для підстанцій з обмеженим простором можуть бути використані компактні моделі роз'єднувачів, що дозволяють ефективно використовувати доступну площу.

Для проектованої підстанції обираємо роз'єднувачі типу РДЗ-2-110-1000 (рис. 2.2) з приводом серії ПРЗ-110-2-УХЛ1. Технічні характеристики та умови вибору наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Технічні характеристики та умови вибору роз'єднувачів

Встановлене обладнання	Розрахункові дані				Каталожні дані			
	$U_{p,max}$	$I_{p,max}$	$I_{y,max}$	$I_p \cdot I_k$	U_n	I_n	$I_{уд}$	$I_{ср} \cdot I_k$
	кВ	А	кА	кА*с	кВ	А	кА	кА*с
Роз'єднувач РНДЗ-2-110/1000	110	140,5	12,086	4,74	110	1000	80	1984,5

Каталожні дані роз'єднувача типу РДЗ-2-110-1000 з приводом серії ПРЗ-110-2-УХЛ1 значно перевищують розрахункові значення, отже апарати обрано вірно.



Рис. 2.2. Роз'єднувач типу РДЗ-2-110-1000

2.4. Обґрунтування та вибір обмежувачів перенапруг зі сторони 110 кВ

Обґрунтування вибору обмежувачів перенапруг замість розрядників ґрунтується на кількох ключових аспектах. Перш за все, обмежувачі перенапруг забезпечують значно вищу надійність та ефективність захисту електричного обладнання від перенапруг. Вони реагують швидше на імпульсні перенапруги, що виникають внаслідок грозових розрядів або комутаційних процесів, знижуючи ризик пошкодження ізоляції та забезпечуючи стабільну роботу електричних систем.

Також варто зазначити, що обмежувачі перенапруг мають більший строк служби та потребують меншого обсягу обслуговування порівняно з розрядниками. Це зменшує експлуатаційні витрати та підвищує загальну ефективність системи. Крім того, обмежувачі перенапруг характеризуються меншими втратами енергії, що сприяє економії електроенергії та покращенню енергоефективності системи.

Застосування обмежувачів перенапруг також сприяє підвищенню безпеки експлуатації електричних мереж. Вони не тільки знижують ризик виникнення пошкоджень, але й мінімізують можливість утворення дугових розрядів, що можуть призвести до пожежі або інших небезпечних ситуацій. Це особливо

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

важливо в умовах сучасних високовольтних мереж, де безпека є пріоритетним фактором.

Вибір обмежувачів перенапруг замість розрядників обумовлений їх кращими експлуатаційними характеристиками, вищою надійністю, економічною ефективністю та підвищеним рівнем безпеки [4].

Таким чином, на основі вище наведених рекомендацій для захисту обладнання підстанції зі сторони 110 кВ приймаємо до монтажу обмежувачі перенапруги серії EXLIM R 072-CN-123 (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Нелінійний обмежувач перенапруг серії EXLIM R

2.5. Вибір та розрахунок параметрів захисту силових трансформаторів

Вибір релейного захисту для силових трансформаторів напругою 110 кВ є важливим і відповідальним завданням, оскільки від нього залежить надійність і безпека роботи електричної мережі. Перш за все, релейний захист повинен забезпечувати швидке і точне виявлення різних видів пошкоджень, таких як міжфазні короткі замикання, замикання на землю, перевантаження та інші

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аномальні умови. Це дозволяє мінімізувати ризик пошкодження трансформатора та інших компонентів системи.

Однією з основних вимог до релейного захисту є його селективність. Захист повинен спрацювати лише в разі виникнення несправності в зоні його відповідальності, щоб уникнути необґрунтованих відключень інших елементів системи. Для цього застосовують диференційний захист, який порівнює струми на вході та виході трансформатора і спрацює тільки при наявності внутрішнього пошкодження.

Також важливим аспектом є чутливість релейного захисту. Вона повинна бути достатньою для виявлення навіть незначних пошкоджень, але водночас не призводити до помилкових спрацювань через незначні коливання струму або напруги. Це досягається використанням сучасних мікропроцесорних реле, які мають високу точність і можуть бути налаштовані для різних режимів роботи.

Крім того, релейний захист повинен мати високу швидкість, щоб мінімізувати час впливу пошкодження на трансформатор. Це особливо важливо для великих силових трансформаторів, де навіть короточасні перевантаження можуть призвести до серйозних пошкоджень. Швидкість забезпечується використанням високошвидкісних реле та відповідних алгоритмів обробки сигналів.

Не менш важливою є й надійність релейного захисту. Він повинен бути стійким до впливу зовнішніх факторів, таких як електромагнітні перешкоди, температурні коливання та інші умови навколишнього середовища. Для цього реле виготовляються з використанням сучасних технологій та матеріалів, що забезпечують їх довготривалу та безвідмовну роботу.

Таким чином, вибір релейного захисту для силових трансформаторів 110 кВ базується на необхідності забезпечення високої надійності, селективності, чутливості, швидкодії та стійкості до зовнішніх впливів. Це дозволяє ефективно захищати трансформатор та інші елементи електричної системи від пошкоджень і забезпечувати безперебійну роботу мережі [5, 6].

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5.1. Диференційний захист силових двообмоткових трансформаторів

Принцип дії захисту заснований на порівнянні струмів на ввіді і на виході силового трансформатора. Для виконання захисту на кожній стороні трансформатора встановлюються трансформатори струму з такими коефіцієнтами трансформації, щоб їх вторинні струми в нормальному режимі були приблизно рівні між собою [12].

Вторинні обмотки трансформаторів струму з'єднуються між собою паралельно, і до них підключається струмове реле (рис. 2.4).

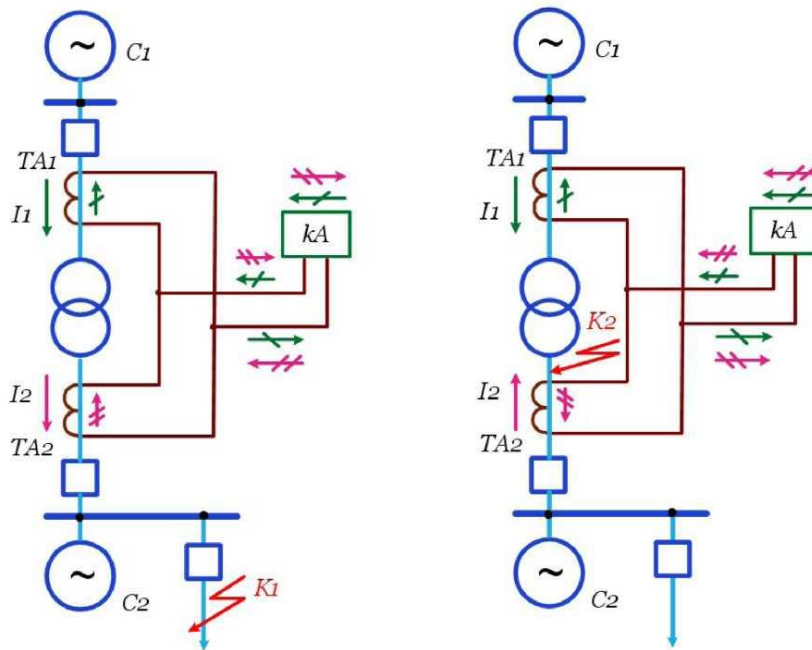


Рис. 2.4. Принцип дії диференціальних захистів трансформатора:
а) зовнішнє коротке замикання; б) коротке замикання в трансформаторі;

У нормальному режимі і при зовнішньому короткому замиканні в точці К струм в реле близький до нуля і захист не працює:

$$I_p = \frac{I_1}{n_{TA1}} - \frac{I_1}{n_{TA2}} \approx 0 \quad (2.10)$$

При пошкодженні трансформатора, коротке замикання в точці К2, в реле проходить сума вторинних струмів:

$$I_p = \frac{I_1}{n_{ТА1}} + \frac{I_1}{n_{ТА2}} \neq 0 \quad (2.11)$$

Захист спрацює.

У порівнянні з диференційним захистом ліній, диференційний захист трансформаторів має підвищені похибки.

Причини появи похибок:

1. Можлива неоднаковість схем з'єднання обмоток силового трансформатора.

У більшості випадків обмотки силових трансформаторів мають різні групи з'єднання. Тоді, навіть при рівності вторинних струмів за наявності фазового зсуву в реле буде протікати струм небалансу (рис. 2.5).

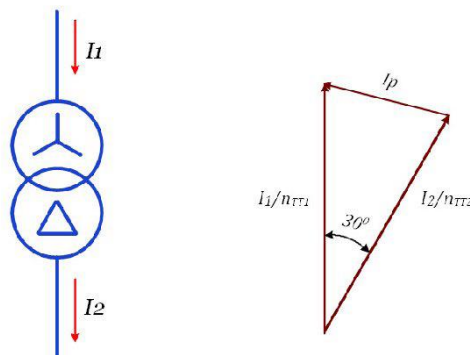


Рис. 2.5. Струм небалансу в реле через неоднаковість схем з'єднання обмоток силового трансформатора.

Для усунення цього фактора трансформатори струму на стороні трикутника силового трансформатора з'єднують в зірку, а на стороні зірки - в трикутник.

2. Наявність кидка струму намагнічування.

При включенні трансформатора під напругу в обмотці трансформатора з боку джерела живлення виникає кидок намагнічуючого струму, який в перший момент часу в 5 - 8 разів перевищує номінальний і згасає протягом 1 - 2 сек.

До характерних ознак кидка струму намагнічування можна віднести наявність аперіодичної складової і значний відсоток вищих гармонік, в першу чергу парних. Оскільки кидки струму намагнічування впливають на захист від внутрішніх замикань, під них необхідно підстроюватись. До основних способів підстройки можна віднести наступні:

- прийняти струм спрацьовування більше максимального значення кидка струму намагнічування. Недолік способу - істотне загрублення захисту;

- ввести уповільнення в дію захисту на час кидка струму намагнічування. Недолік - уповільнення часу ліквідації короткого замикання;

- використовувати ознаку наявності аперіодичної складової в струмі намагнічування. У початковий момент виникнення короткого замикання також виникає аперіодична складова, але час її протікання становить доли секунди і практично уповільнення спрацьовування захисту не відбувається;

- ідентифікувати момент включення по наявності другої гармоніки.

Використання даної ознаки припускає введення додаткового пускового елемента - реле відсічки, яке повинно працювати при великих кратностях первинного струму. При внутрішніх пошкодженнях, пов'язаних з глибоким насиченням трансформаторів струму, у вторинному струмі з'являється друга гармоніка, що може призвести до відмови захисту.

3. Можлива неоднаковість вторинних струмів в плечах захисту.

Струми силових трансформаторів з боку обмоток вищої і нижчої напруги не рівні між собою, тому трансформатори струму, вибрані за номінальним первинним струму, будуть мати різні коефіцієнти трансформації, різне конструктивне виконання і відповідно, різні похибки. Крім того, номінальні струми силових трансформаторів зазвичай не збігаються зі шкалою

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

номінальних струмів трансформаторів струму. Внаслідок цього в плечах диференціальної захисту будуть протікати різні за величиною струми.

При зовнішньому короткому замиканні струм небалансу різко зростає, що може призвести до помилкового спрацювання захисту. Тому для зниження струму небалансу, викликаного нерівністю вторинних струмів, необхідно вирівняти ці струми шляхом включення проміжних вирівнювальних автотрансформаторів струму або використовувати в диференційному реле спеціальні вирівнюючі обмотки.

4. Наявність пристрою автоматичного регулювання напруги силового трансформатора.

Пристрої автоматичного регулювання напруги силових трансформаторів міняють коефіцієнт трансформації трансформатора, в результаті чого змінюється співвідношення первинних струмів і відповідно, вторинних струми трансформаторів струму. При виборі струму спрацювання диференційного захисту до уваги приймається два фактори:

1. Захист не повинен спрацювати від кидка струму намагнічування в момент включення ненавантаженого силового трансформатора під напругою:

$$I_{сз} \geq K_n \cdot I_{ном} \quad (2.12)$$

де, $K_n = 0,3-1,5$ - коефіцієнт надійності, що враховує виконання вимірювального органу захисту.

2. Захист не повинен спрацювати від максимально можливого струму небалансу в режимі зовнішнього замикання:

$$I_{сз} \geq K_n \cdot (I'_{нб} + I''_{нб} + I'''_{нб}) \quad (2.13)$$

де, $I'_{нб}$ - складова струму небалансу, що викликається похибкою трансформаторів струму;

$I''_{нб}$ - складова струму небалансу, що викликається наявністю пристрою регулювання коефіцієнта трансформації силових трансформаторів;

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$I''''_{нб}$ - складова струму небалансу, що викликається неточністю вирівнювання вторинних струмів в плечах захисту.

У ряді випадків при зовнішніх замиканнях через реле проходять великі струми небалансу, облік яких істотно загрожує захист і може призвести до відмови захисту при деяких видах ушкоджень. Для підвищення чутливості диференціального захисту в таких випадках використовується пусковий орган з гальмуванням. Принцип ефекту гальмування можна розглянути на прикладі диференційного реле з швидко насичуючим трансформатором (рис. 2.5).

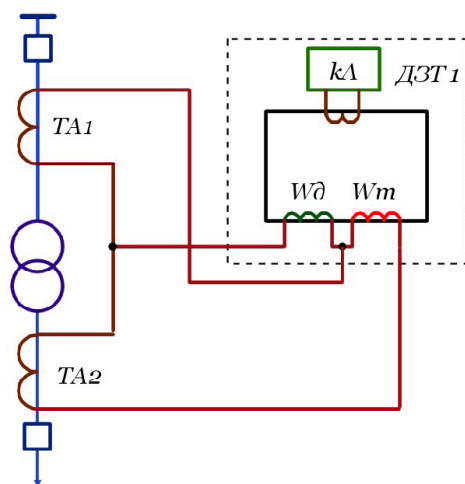


Рис. 2.5. Принцип дії захисту з гальмуванням:

БНТ – швидко насичуючий трансформатор; W_p - робоча обмотка;

W_t - гальмівна обмотка; $W_{вих}$ - вихідна обмотка.

При виникненні зовнішнього короткого замикання в точці К1 по робочій обмотці W_p протікають два приблизно рівних і направлених зустрічно один одному струму $I_{1вт}$ і $I_{2вт}$. За рахунок магніторушійних сил, створюваних цими струмами:

$$I_{1вт}W_p - I_{2вт}W_p = I_{нб}W_p \quad (2.14)$$

В осерді швидко насичуючого трансформатора БНТ створюється результуючий потік, який пронизує витки вихідної обмотки і може призвести

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до спрацювання реле. Гальмівна обмотка W_m і струм I_{2BT} створюють додатковий потік, який насичує сталь осердя і загубляє захист.

При внутрішньому короткому замиканні струм I_{2BT} відсутній, і реле КА спрацює.

Зіставлення чутливості захисту без гальмування і з гальмуванням показано на рис. 2.6.

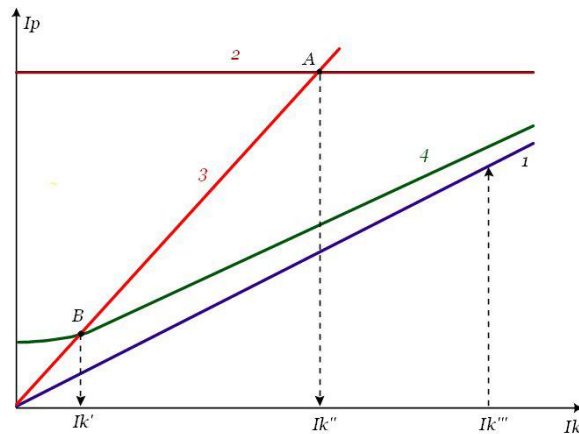


Рис. 2.6. Оцінка чутливості диференціального захисту:

1 - струм небалансу захисту в залежності від величини струму короткого замикання; 2 - залежність струму спрацювання захисту без гальмування; 3 - струм в реле при внутрішньому короткому замиканні; 4 - залежність струму спрацювання захисту з гальмуванням; $I'_{нб}$ - максимальне можливе значення струму зовнішнього короткого замикання; $I''_{нб}$ - значення струму короткого замикання, при якому спрацює захист без гальмування; $I'''_{нб}$ - значення струму короткого замикання, при якому спрацює захист з гальмуванням.

2.5.2. Обґрунтування вибору мікропроцесорного пристрою диференційного захисту силового трансформатора

Основним захистом силового трансформатора є диференційний захист. Для основного захисту силового трансформатора ТДН 10000/110/10 кВ вибираємо інтелектуальний електронний пристрій захисту трансформатора

RET650. RET650 забезпечує швидкий та вибірковий захист, моніторинг і управління для всіх типів трансформаторів, таких як дво- або триобмоткові трансформатори, автотрансформатори, шунтуючі реактори та підвищувальні трансформатори на електростанціях.

Характеристики RET650.

Корпус:

- ширина 220 мм
- висота 265,9 мм
- глибина 249,5 мм

Модуль аналогових входів:

- 10 аналогових входів на модуль, до 2 модулів
8I +2 U, 6I +4 U, 4I +1 I * +5 U

(* чутливий струмовий вхід 0.1/0.5 А)

- одатковий модуль 6I + 4U
- універсальні струмові входи на 1А і 5А
- самозакорочуючі клеми струмових входів

Модуль дискретних входів / виходів:

- до 4 модулів у пристрої: 9 дискретних виходів; 3 реле з високою комутаційної здатністю, 6 сигнальних реле.

- 9 дискретних входів
- для кожного модуля задається напруга в діапазоні 24 .. 250В пост. струму. Для кожного входу задається поріг спрацьовування. Значення за замовчуванням: 110 В і 65%.

Модуль блоку живлення

- 48 .. 125В пост. або 110 .. 250В пост./100..240В змін.
- 9 Дискр. вих., 3 Дискр. вих. з конт. испр. ланцюгів вимк.
- Реле внутрішньої несправності (IRF)

Модуль зв'язку та центрального процесора

- Ethernet зв'язок, оптика (IEC61850-8-1, TCP/DNP3.0)

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- оптичний послідовний порт, ST роз'єми (пластмасове або скляне волокно, зарезервовані для ДЗЛ)
- порт для підключення ІЧМ
- порт для синхронізації IRIG-B
- додатковий порт для підключення ІЧМ (використовується при відкл. ІЧМ спереду)
- 14 дискретних входів

Місцевий ІЧМ:

- індикація до 135 дискретних сигналів з допомогою 15 триколірних світлодіодів на трьох сторінках
- графічний дисплей 320x240 піксел з можливістю відображення однолінійної схеми
- 5 програмованих кнопок.

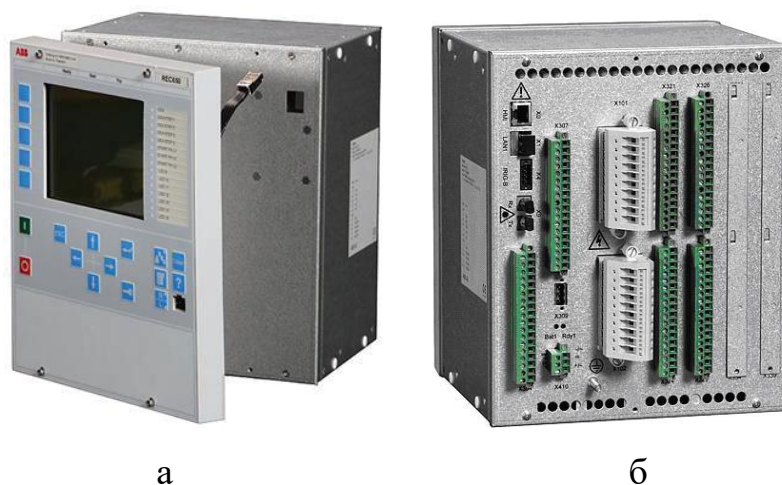


Рис. 2.7. Пристрій мікропроцесорного захисту RET 650:

1. а – вид спереду; б - – вид ззаду

2.5.3. Розрахунок параметрів спрацювання диференційного реле серії RET 650

Диференційний принцип дозволяє виконувати швидкодіючий захист трансформатора що буде реагувати на пошкодження в обмотках, на вводах і в з'єднанні з вимикачем.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Функції релейного захисту:

- основний захист трансформатора у вигляді поздовжнього двоступінчастого диференційного струмового захисту з гальмуванням від максимального фазного струму сторін вищої й нижчої напруги.
- захист від перевантаження трансформатора. Захист від перевантаження реагує на перевищення уставки струмом у кожній з фаз сторони вищої напруги.
- газовий захист трансформатора. Захист організований шляхом контролю дискретними входами RET 650 за станом замикаючих контактів газового реле й після спрацьовування діє на відключення або подачу сигналу.
- тепловий захист трансформатора. Захист організований шляхом контролю дискретним входом RET 650 за станом замикаючого контакту теплового реле й після спрацювання діє на відключення або подачу сигналу.

Функції автоматики: включення й відключення вимикача. Включення й відключення вимикача відбувається від RET 650 або через дискретні входи (імпульсно). При наявності сигналу на відключення вимикача включається блокування сигналів на включення. Налаштування входів, виходів, індикаторів, уставок, витримок часу, реєстраторів виконується за допомогою сервісного ПО, що володіє можливостями запису архівів уставок з файлу, протоколювання уставок, ранжування та інше.

Розрахунок параметрів спрацювання захисту:

1. Визначаємо середні значення первинних і вторинних номінальних струмів (табл. 2.3) струмів для всіх сторін трансформатора.

Таблиця 2.3. Розрахункові параметри

Найменування величини	Розрахункова формула	Численне значення для сторони	
		110 кВ	10 кВ
Первинний номінальний струм трансформатора , А	$I = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H}$	50,3	550,5

Коефіцієнт трансформації ТС	$n_T = \frac{I_{H1}}{I_{H2}}$	300/5=60	1000/5=200
Схема з'єднання ТС	-	трикутник	зірка
Схема з'єднання обмоток трансформатора ТДН 10000/110	-	зірка	трикутник
Вторинний струм в плечах захисту, А	$I = \frac{I \cdot K_{CT}}{n_T}$	1,45	4,76

2. Струм небалансу:

$$I_{нб.р} = I'_{нб.р} + I''_{нб.р} \quad (2.15)$$

Для визначення струму спрацьовування захисту розраховуємо струм небалансу при КЗ в точці К1:

$$I'_{нб.р} = K_{апер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{кз.макс}^{(3)} \quad (2.16)$$

де ε - похибка ТС (10-% кратності), $\varepsilon=0,1$;

$K_{одн}$ – величина коефіцієнту однотипності, ($K_{одн}=1$);

$K_{апер}$ – коефіцієнт врахування перехідного режиму, ($K_{апер}=1$).

$$I'_{нб.р} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 5045 = 504,5 \text{ А}$$

$$I''_{нб.р} = \Delta N_1 \cdot I_{кз.макс}^{(3)} \quad (2.17)$$

де ΔN_1 – половина регульованого діапазону, для якого застосовується вирівнювання вторинних струмів (половина регульованого діапазону $N=\pm 16\%$ $\Delta N=0,16$).

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I''_{\text{нб.р}} = 0,16 \cdot 5045 = 807,2 \text{ А}$$

$$I_{\text{нб.р}} = I'_{\text{нб.р}} + I''_{\text{нб.р}} \quad (2.18)$$

$$I_{\text{нб.р}} = 504,5 + 807,2 = 1311,7 \text{ А}$$

3. Тому що $I_{2\text{НОМ.НН}}=4,76 > I_{1\text{НОМ.НН}}=1,45$ тоді нижча сторона є основною стороною для розрахунку.

Визначаємо значення первинного струму спрацювання з умови налаштування від кидка струму намагнічування:

$$I_{\text{с.з.}} = K_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}} = 1,5 \cdot I_{\text{н}} \quad (2.19)$$

де $K_{\text{н}} = 1,5$ для реле RET650.

$$I_{\text{с.з.}} = 1,5 \cdot 550,5 = 825,7 \text{ А}$$

Приймаємо найбільше значення $I_{\text{с.з.}} = 825,7 \text{ А}$

4. Зробимо попередню перевірку коефіцієнта чутливості для мінімального значення струму КЗ в точці К2, коли гальмування відсутнє:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ.мін}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} \quad (2.20)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{4124}{825,7} = 4,99 > 1,5$$

Оскільки, отримане значення коефіцієнта чутливості більше потрібного, тоді розрахунок захисту з реле RET 650 можна продовжувати.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Визначаємо струми спрацювання реле, приведені до основної сторони низької напруги:

$$I_{cp} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{ca}}{n_T} = \frac{\sqrt{3} \cdot 825,7}{200} = 7,15 \text{ A} \quad (2.21)$$

6. Для забезпечення захисту від перевантажень визначаємо струми спрацювання системи захисту з дією на подачу сигналу:

$$I_{c.e.n.} = \frac{I_H \cdot K_B}{K_n} = \quad (2.22)$$

де K_B – коефіцієнт налаштування, приймається рівним 1,05;

K_n – коефіцієнт повернення пристрою.

$$I_{c.e.n.} = \frac{I_H \cdot K_B}{K_n} = \frac{550,5 \cdot 1,05}{0,95} = 608,4 \text{ A}$$

Для мікропроцесорного пристрою RET 650 коефіцієнт повернення приймаємо 0,95.

7. Час спрацювання захисту від перевантаження має бути довшим за час роботи захисної автоматики та відновлення нормального режиму роботи, щоб уникнути помилкових сигналів і знизити пусковий струм навантаження до номінального рівня.

8. Вибір уставок диференційного струмового відсічення.

Диференційне струмове відсічення призначено для миттєвого відключення великих струмів в зоні дії захисту. Особливо ефективно використання відсічки на трансформаторах середньої потужності. Тому що диференційне струмове відсічення є грубим вимірювальним органом і виконується без гальмування, тому її уставку по диференційному струму

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спрацювання необхідно відстроїти від кидків струму намагнічування й струму небалансу при зовнішніх КЗ.

За умовою настройки від максимального струму небалансу при зовнішніх КЗ уставку рекомендується розраховувати за виразом:

$$I_{\text{від}} = K_{\text{від}} \cdot I_{\text{НБ.р}} \quad (2.23)$$

де $K_{\text{від}} = 1,5$ – коефіцієнт налаштування, що враховує помилки розрахунку й необхідний запас ;

$I_{\text{НБ.р}}$ – розрахунковий струм небалансу, обумовлений струмом зовнішнього КЗ.

$$I_{\text{від}} = 1,5 \cdot 1311,7 = 1967,65 \text{ A}$$

Знаходимо розрахунковий струм спрацювання струмової відсічки, приведений до основної сторони НН.

$$I_{\text{сп}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{від}}}{n_{\text{т2}}} \quad (2.24)$$

$$I_{\text{сп}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1967,65}{200} = 17 \text{ A}$$

2.5.4. Розрахунок параметрів спрацювання резервного захисту

Для резервного захисту силового трансформатора вибираємо пристрій РЕТ 650 який використовується для резервування захисту трансформатора в сполученні з диференційним захистом.

На стороні 110 кВ силового трансформатора передбачаємо установку максимального струмового захисту (МСЗ) з витримкою часу.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Максимальні робочі струми силових трансформаторів зі сторони 110 кВ:

$$I_{\text{н.вн.}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{вн}}} \quad (2.25)$$

де $U_{\text{вн}}$ – номінальна лінійна напруга, кВ;

$S_{\text{н}}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА.

$$I_{\text{н.вн.}} = \frac{1,4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 70,3 \text{ А}$$

Струми спрацювання захисту буде дорівнювати

$$I_{\text{с.з}} = \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{в}}} \cdot I_{\text{р.мах}} \quad (2.26)$$

де $K_{\text{н}}$ – коефіцієнт надійності.

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт, що враховує повернення реле.

$$I_{\text{с.з}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot 70,3 = 88,8 \text{ А}$$

Тоді:

$$I_{\text{с.р}} = \frac{K_{\text{сх}}}{n_{\text{т}}} \cdot I_{\text{с.з}} \quad (2.27)$$

де $K_{\text{сх}}$ – коефіцієнт врахування схеми з'єднання вимірювального трансформатора струму, при схемі ввімкнення повна або неповна зірка дорівнює 1;

$n_{\text{т}}$ – коефіцієнт трансформації ТС зі сторони ВН.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{c.p} = \frac{1}{60} \cdot 88,8 = 1,48 \text{ A}$$

Приймаємо до уставки струм реле типу REC 650 з межами струму спрацювання 1,25 – 150 А.

Розрахунок струмової відсічки.

Трифазний струм КЗ для трансформаторів з РПН знаходимо за формулою:

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}(X_c + X_T)} \quad (4.14)$$

де X_c – опір системи;

X_T – опір трансформатора.

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{110000}{\sqrt{3} \cdot (14,08 + 138,9)} = 415 \text{ A}$$

Струм спрацювання відсічки:

$$I_{c.в} \geq K_H \cdot I_{кз}^{(3)} \quad (4.15)$$

де K_H – коефіцієнт надійності 1,5.

$$I_{c.в} \geq 1,5 \cdot 415 = 622,5 \text{ A}$$

2.5.5. Складання керування вимикачем 110 кВ на основі реле RET 650

Схема управління вимикачем повинна відповідати всім вимогам, особлива увага приділяється надійності. Схема підключення елегазового вимикача серії LTB 145D1/B зображена на рисунку 2.8.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ОБҐРУНТУВАННЯ, ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ 10 КВ

3.1. Призначення розподільчого пункту 10 кВ підстанції

Розподільчий пункт 10 кВ підстанції 110/10 кВ виконує ключову роль у системі електропостачання, забезпечуючи розподіл електроенергії від високовольтної мережі до споживачів середньої напруги. Основне призначення розподільчого пункту полягає у прийомі електроенергії від трансформаторів, що знижують напругу з 110 кВ до 10 кВ, і подальшому її розподілі до місцевих споживачів. Він забезпечує надійність електропостачання, контролюючи і регулюючи параметри електричного струму, такі як напруга і частота, а також захищаючи електрообладнання від перевантажень і коротких замикань.

Розподільчий пункт включає в себе різноманітне обладнання, таке як вимикачі, роз'єднувачі, трансформатори струму і напруги, а також релейний захист і автоматику. Це обладнання дозволяє оперативно відключати пошкоджені ділянки мережі, мінімізуючи вплив аварій на споживачів. Розподільчий пункт також виконує функції моніторингу та контролю роботи електричної мережі, забезпечуючи інформацію для операторів про стан мережі в режимі реального часу.

Крім того, розподільчий пункт забезпечує можливість гнучкого керування режимами роботи електричної мережі, що дозволяє оптимізувати витрати енергії та підвищувати ефективність її використання. Він грає важливу роль в інтеграції відновлюваних джерел енергії в електричну мережу, дозволяючи ефективно управляти їхнім підключенням і розподілом енергії.

Загальний вид комірки розподільчого пункту 10 кВ РТП 110/10 кВ «Заводська» наведено на листі №3.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Вибір вимикачів зі сторони 10 кВ

Вибір вимикачів зі сторони 10 кВ є важливим завданням для забезпечення надійності та безпеки електричних систем. Перш за все, необхідно враховувати номінальну напругу мережі, яка у цьому випадку становить 10 кВ. Вимикачі повинні бути здатними витримувати максимальні робочі напруги, а також мати достатній запас для можливих перенапруг.

Одним із ключових критеріїв є номінальний струм, на який розраховані вимикачі. Він повинен відповідати або перевищувати максимальний струм, який може проходити через лінію. Також необхідно враховувати комутаційну здатність вимикача, тобто його здатність безпечно розмикати та замикати ланцюг при різних навантаженнях і аварійних режимах. Зокрема, важливим параметром є комутаційна здатність на струми короткого замикання.

Вибираючи вимикачі, слід звернути увагу на їх конструкцію та тип. На ринку представлені масляні, вакуумні та елегазові вимикачі. Кожен з цих типів має свої переваги та недоліки. Масляні вимикачі відомі своєю надійністю, але потребують регулярного технічного обслуговування. Вакуумні вимикачі відрізняються високою екологічністю та тривалим терміном служби, тоді як елегазові вимикачі забезпечують високу комутаційну здатність та компактні розміри.

Експлуатаційні умови також відіграють значну роль у виборі вимикачів. Необхідно враховувати кліматичні умови, в яких вони будуть експлуатуватися, наприклад, температура, вологість, рівень забруднення. Важливою є стійкість до механічних впливів, таких як вібрації та удари.

Економічні фактори також впливають на вибір вимикачів. Це не тільки вартість самого обладнання, але й витрати на його монтаж, експлуатацію та технічне обслуговування. Слід оцінити сумарні витрати протягом всього життєвого циклу вимикача, щоб вибір був економічно доцільним.

Для розподільчих пристроїв (РП) на 10 кВ рекомендується використовувати вакуумні вимикачі від виробника «Таврида Електрик».

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вакуумні вимикачі серії ВВ/TEL розроблені для встановлення в комплектних розподільчих пристроях (КРУ) як внутрішнього, так і зовнішнього типу. Ці вимикачі є новітніми комутаційними апаратами, захищеними патентом. Основою їх конструкції є використання пофазних приводів електромагнітного типу з «магнітними защіпками», які механічно з'єднані загальним валом. Така конструкція забезпечує наступні переваги в порівнянні з іншими вакуумними вимикачами [2-4]:

- високі показники зносостійкості;
- низьке енергоспоживання в колах включення і відключення;
- компактні розміри і невелика вага;
- можливість застосування як постійного так і змінного оперативного струму для керування апаратами;
- відсутність необхідності ремонту протягом всього терміну експлуатації;
- низькі показники трудомісткості виробництва апарату.

Вимикачі для розподільчого пункту 10 кВ РТП 110/10 кВ «Заводська» обираємо за умовами, які наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Вибір вимикачів для розподільчого пункту 10 кВ

Параметри	Умови вибору	Розрахункові дані	Розрахункові формули	ВВ/TEL-10
Номінальна напруга	$U_{н.в} > U_{н}$	10 кВ	$U_{н.в} > U_{н}$	6(10)/12 кВ
Номінальний струм	$I_{н.в} > I_{р.мах}$	770 А	$I_{р.мах} = \frac{S_{м}}{\sqrt{3} \cdot U_{н}}$	1600 А
Допустимий струм вмикання	$I_{д.вим} > I_{р.вим}$	7,7 кА	$I_{р.вим} = \sqrt{2} \cdot I_{кз}^3$	20 кА
Струм динамічної стійкості	$I_{мах} > I_{у}$	11,5 кА	$I_{у} = K_{у} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{кз}^3$	51 кА
Струм термічної стійкості	$I_{тн}^2 t_{к} > (I_{кз}^3)^2 t_{пр}$	88,2 кА·с	-	480 кА·с

Для комірки вводу 10 кВ також вибираємо вакуумний вимикач ВВ/TEL-6(10)-20/1600У2 від вітчизняного виробника «Таврида Електрик» (рис. 3.1). Технічні характеристики обраних вимикачів показано в таблиці 3.2. Креслення загального виду вимикача, а також монтажне креслення показані на листах №4 та №5 графічної частини проекту.



Рис. 3.1. Вакуумний вимикач ВВ/TEL-6(10)-20/1600У2

Таблиця 3.2 - Паспортні дані вакуумного вимикача серії ВВ/TEL від виробника «Таврида Електрик»

№	Найменування параметру	Значення
1	Номінальна напруга, кВ	6(10)
2	Найбільша робоча напруга, кВ	12
3	Номінальний струм, А	1600
4	Номінальний струм вимкнення, кА	20
5	Параметри наскрізного струму КЗ, кА:	
	- Найбільший пік	52
	- Початкове дійсне значення аперіодичної складової	20
	- Струм термічної стійкості (трьох секундний)	20
6	Особистий час відключення, мс	15
7	Повний час відключення, мс	25
8	Особистий час включення, мс	55

3.3. Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги

Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги є критичним етапом проектування електричних підстанцій, оскільки вони забезпечують точне вимірювання параметрів електричних мереж для контролю та захисту. При виборі трансформаторів струму необхідно враховувати номінальний струм, частоту, клас точності та коефіцієнт трансформації. Номінальний струм трансформатора повинен відповідати або перевищувати максимальний струм, що протікає через нього в нормальних та аварійних режимах роботи.

Клас точності вимірювальних трансформаторів струму визначає, наскільки точно трансформатор передає величину вимірюваного струму до вимірювальних приладів. Зазвичай, для захисних пристроїв використовуються трансформатори з класом точності 5Р або 10Р, а для вимірювальних приладів – клас 0.2 або 0.5. Вибір класу точності залежить від вимог до точності вимірювань та специфіки експлуатації підстанції.

Для трансформаторів напруги важливо враховувати номінальну напругу, частоту, клас точності та тип ізоляції. Номінальна напруга трансформатора повинна відповідати номінальній напрузі мережі, до якої він підключений. Також важливо враховувати перевантажувальну здатність трансформатора, тобто його здатність витримувати короточасні перевищення напруги без пошкоджень. Клас точності трансформаторів напруги визначає точність вимірювання напруги та впливає на коректність даних, що отримуються для контролю та обліку електроенергії. Вимірювальні трансформатори з вищим класом точності забезпечують більш точні вимірювання, що є важливим для комерційного обліку електроенергії та аналітики.

Конструктивні особливості трансформаторів також мають значення. Наприклад, трансформатори з литою ізоляцією мають високу стійкість до зовнішніх впливів та можуть використовуватись в умовах підвищеної вологості або забруднення. Такі трансформатори також менш схильні до старіння та мають тривалий термін служби.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрім технічних характеристик, необхідно враховувати й експлуатаційні умови, такі як температурний режим, вологість та можливі механічні впливи. Правильний вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги сприятиме підвищенню надійності та безпеки роботи підстанції, забезпечуючи точні та надійні вимірювання параметрів електричної мережі.

3.3.1. Вибір трансформаторів струму

Вибір трансформаторів струму для введів напругою 10 кВ виконуємо для випадку, коли один із силових трансформаторів 110 кВ виходить з ладу, тобто живлення всіх споживачів відбувається від одного трансформатора.

Тоді, максимальне значення робочого струму для вводу у такому випадку:

$$I_{м.нн} = \frac{1,4 \cdot S_{нн}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн}}; \quad (3.1)$$

$$I_{м.нн} = \frac{1,4 \cdot S_{н}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн}} = \frac{1,4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 770 \text{ А}$$

Відповідно до отриманого розрахункового значення струму вводу 10 кВ приймаймо до установки трансформатори струму серії ТОЛ – 10 – 0.5 /P1000 (рис. 3.2.). Результати вибору трансформаторів струму для розподільчого пункту 10 кВ, а також перевірка виконання умов вибору показано в таблиці 3.3.



Рис. 3.2. Трансформатори струму серії ТОЛ – 10 – 0.5 /P1000

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Таблиця 3.3. Результати вибору трансформаторів струму для розподільчого пункту 10 кВ

Параметр	Умови вибору	Розрахункові дані	Паспортні дані
Номінальна напруга, кВ	$U_{\text{пер.}} < U_{\text{н.т.с.}}$	10	10
Номінальний струм, А	$I_{\text{роз}} < I_{\text{н.т.с.}}$	770	1000

3.3.2. Вибір трансформаторів напруги

Для живлення вимірювальних приладів, а також для контролю ізоляції передбачається установка трансформаторів напруги типу НКФ-110-83БУ1, класу точності 0.5.

Трансформатори напруги вибирають за наступними умовами:

1) по номінальній напрузі:

$$U_{\text{тн.1}} > U_{\text{н.уст}}, \quad (3.2)$$

де $U_{\text{тн.1}}$ – номінальне значення напруги первинної обмотки вимірювального трансформатора напруги, кВ.

2) по вторинному навантаженню:

$$S_{\text{т.н2}} > S_2, \quad (3.3)$$

де $S_{\text{т.н2}}$ – номінальне значення потужності вимірювального трансформатора напруги для обраного класу точності, ВА.

S_2 – величина вторинного навантаження вимірювального трансформатора напруги, ВА.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Величину вторинного навантаження вимірювального трансформатора напруги визначаємо за формулою:

$$S_2 = \sqrt{\sum P_n^2 + \sum Q_n^2} \quad (3.4)$$

Розраховуємо величину вторинного навантаження вимірювального трансформатора напруги при $\Sigma P = 38 \text{ Вт}$; $\Sigma Q = 63.3 \text{ Вар}$:

$$S_2 = \sqrt{38^2 + 63,3^2} = 73,8 \text{ ВА}$$

Для розподільчого пункту 10 кВ приймаємо до монтажу вимірювальний трансформатор напруги серії НТМИ-10 (рис. 3.3), каталожні дані якого наведені в таблиці 3.4.

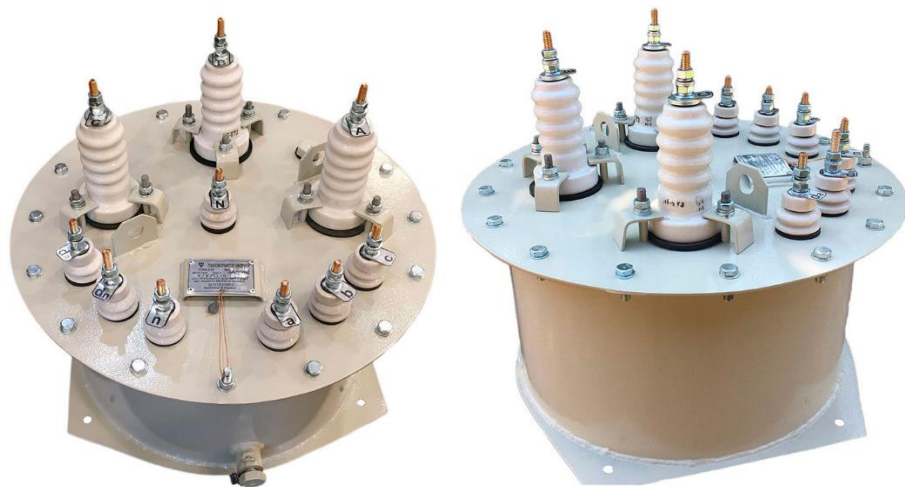


Рис. 3.3. Вимірювальний трансформатор напруги серії НТМИ-10

Таблиця 3.4. Каталожні дані вимірювального трансформатора струму типу НТМИ-10

Тип	Номінальна напруга		S _н , ВА	S _{max} , ВА	З'єднання обмоток	Коефіцієнт трансформації
	В.Н	Н.Н				
НТМИ-10	10	0,1	120	120	Y/Y	100

3.4. Обґрунтування та вибір обмежувачів перенапруг зі сторони 10 кВ

На основі наведених рекомендацій у розділі 2.4, для захисту обладнання підстанції зі сторони 10 кВ приймемо до монтажу обмежувачі перенапруги серії ОПН-РТ/TEL-10/11,5 (рис. 3.4), каталожні дані якого наведені в таблиці 3.5.



Рис. 3.4. Обмежувачі перенапруги серії ОПН-РТ/TEL-10/11,5

Таблиця 3.5. Каталожні дані обмежувача перенапруги серії ОПН-РТ/TEL-10/11,5

Параметр	Значення
Клас напруги системи, кВ	10
Максимальна тривало допустима напруга, кВ (діюче)	11,5
Клас розряду лінії	II
Пропускна здатність, А	760
Струм вибухонебезпечності, кА	20
Категорія розміщення	УХЛ2

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація роботи з охорони праці на РТП 110/10 кВ. Організація роботи з охорони праці на розподільчих трансформаторних підстанціях (РТП) 110/10 кВ є важливою складовою забезпечення безпеки працівників та надійної експлуатації обладнання. Відповідальність за охорону праці при виконанні ремонту та обслуговування підстанції несе керівник підприємства, а також безпосередні керівники робіт, такі як головний інженер, начальник електротехнічного відділу, майстри та інші відповідальні особи, визначені наказом по підприємству.

Перед початком робіт працівники повинні пройти обов'язкові інструктажі з охорони праці. Це включає первинний інструктаж, який проводиться при прийомі на роботу, повторний інструктаж, що проводиться не рідше ніж раз на шість місяців, а також позаплановий інструктаж у разі змін у технологічному процесі, обладнанні або при порушенні вимог безпеки праці. Цільовий інструктаж здійснюється перед виконанням робіт підвищеної небезпеки або при ліквідації аварійних ситуацій.

Окрім інструктажів, працівники повинні проходити навчання та перевірку знань з охорони праці. Це навчання проводиться відповідно до затверджених програм і включає теоретичні заняття та практичні вправи. Періодичність перевірки знань встановлюється законодавством і, як правило, здійснюється раз на рік або за необхідністю.

Для забезпечення належного рівня безпеки на підстанціях також необхідно дотримуватися вимог правил техніки безпеки та інструкцій щодо експлуатації електрообладнання. Виконання робіт повинно здійснюватися відповідно до затверджених технологічних карт та під наглядом відповідальних осіб. Особливу увагу слід приділяти використанню засобів індивідуального захисту, таких як діелектричні рукавиці, килимки, інструменти з ізоляцією та інше обладнання, що забезпечує захист від ураження електричним струмом.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, комплекс заходів з організації охорони праці на РТП 110/10 кВ включає чітке визначення відповідальних осіб, проведення систематичних інструктажів та навчань, а також суворе дотримання правил техніки безпеки при виконанні ремонтних і обслуговуючих робіт. Це забезпечує не лише безпеку працівників, але й надійну експлуатацію підстанції. [17-19].

Небезпечні та шкідливі фактори, що можуть виникати при роботах на РТП 110/10 кВ. При виконанні робіт на розподільчих трансформаторних підстанціях (РТП) 110/10 кВ можуть виникати різноманітні небезпечні та шкідливі фактори, які становлять загрозу для життя та здоров'я працівників. Одним з основних небезпечних факторів є високий рівень напруги, який може призвести до ураження електричним струмом. Це може статися при випадковому дотику до струмопровідних частин, недостатньому заземленні обладнання або при неправильному виконанні робіт.

Іншим суттєвим фактором є можливість виникнення електричних дуг, які утворюються при коротких замиканнях або помилках у перемиканні. Електричні дуги можуть спричинити серйозні опіки, пошкодження очей та інших частин тіла. Під час роботи на підстанції також існує ризик термічних впливів, пов'язаних з нагріванням обладнання, що може викликати опіки або перегрів організму працівника.

Шкідливі фактори включають в себе вплив електромагнітних полів, що утворюються навколо високовольтного обладнання. Довготривала дія цих полів може негативно впливати на здоров'я, спричиняючи головні болі, втому, порушення сну та інші проблеми. Крім того, на підстанціях можуть використовуватися різноманітні хімічні речовини, зокрема масла, які застосовуються в трансформаторах для охолодження. Випаровування цих речовин або їх контакт з шкірою може викликати інтоксикацію, подразнення або алергічні реакції.

Фізичні фактори, такі як шум від працюючого обладнання, вібрація та висока температура, також можуть негативно впливати на здоров'я працівників. Шум може викликати порушення слуху, вібрація – проблеми з опорно-руховим

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

апаратом, а висока температура – теплові удари та зневоднення організму. Усі ці фактори підкреслюють необхідність дотримання заходів безпеки, використання засобів індивідуального захисту та постійного контролю за станом робочого середовища на підстанціях.

Рекомендації щодо впровадження безпечних і здорових умов праці при виконанні робіт в РТП 110/10 кВ. Впровадження безпечних і здорових умов праці при виконанні робіт на розподільчих трансформаторних підстанціях (РТП) 110/10 кВ вимагає комплексного підходу, що включає кілька ключових аспектів. По-перше, необхідно забезпечити належне навчання та підготовку персоналу. Працівники повинні регулярно проходити інструктажі з охорони праці, включаючи первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі, щоб бути обізнаними з потенційними ризиками та методами їх уникнення. Навчання повинно включати як теоретичні знання, так і практичні навички безпечного виконання робіт.

Другим важливим аспектом є забезпечення відповідного технічного стану обладнання. Необхідно проводити регулярні огляди, технічне обслуговування та ремонт обладнання, що використовується на підстанціях. Це включає перевірку ізоляції, заземлення, роботу захисних пристроїв та інші заходи, які знижують ризик виникнення аварійних ситуацій. Важливо також впроваджувати сучасні технології та обладнання, які мають підвищений рівень безпеки.

Особлива увага повинна приділятися засобам індивідуального захисту (ЗІЗ). Працівники повинні бути забезпечені діелектричними рукавичками, взуттям, килимками, захисними окулярами та іншим спеціальним одягом. Використання ЗІЗ повинно бути обов'язковим при виконанні робіт підвищеної небезпеки, таких як роботи на висоті або в умовах високої напруги.

Організація робочого процесу також відіграє важливу роль. Необхідно чітко регламентувати порядок виконання робіт, забезпечити контроль за дотриманням правил техніки безпеки та нагляд за роботою персоналу. На кожному етапі робіт повинні бути визначені відповідальні особи, які слідкують за безпекою

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

працівників. Важливо проводити попередній аналіз потенційних небезпек перед початком будь-яких робіт.

Психологічний комфорт і здоров'я працівників також мають значення. Роботодавець повинен забезпечити оптимальні умови праці, які включають належне освітлення, вентиляцію та рівень шуму. Варто проводити регулярні медичні огляди та створювати умови для швидкого надання медичної допомоги у разі необхідності.

Загалом, впровадження безпечних і здорових умов праці на РТП 110/10 кВ потребує систематичного підходу, який включає навчання персоналу, технічне обслуговування обладнання, використання ЗІЗ, організацію робочого процесу та підтримку психологічного і фізичного здоров'я працівників. Це забезпечить не лише захист від нещасних випадків, але й сприятиме підвищенню ефективності роботи та збереженню життя і здоров'я людей..

Висновки. Організація безпечних і здорових умов праці на розподільчих трансформаторних підстанціях (РТП) 110/10 кВ є критично важливою для забезпечення безпеки працівників і ефективної експлуатації обладнання. Це досягається шляхом комплексного підходу, який включає регулярне навчання та інструктажі персоналу, технічне обслуговування і модернізацію обладнання, використання засобів індивідуального захисту, чітке регламентування робочих процесів та контроль за їх виконанням. Важливу роль відіграє також забезпечення оптимальних умов праці та підтримка фізичного і психологічного здоров'я працівників. Дотримання цих рекомендацій сприятиме зниженню ризиків виникнення аварійних ситуацій і нещасних випадків, що забезпечить збереження життя і здоров'я персоналу та підвищить загальну ефективність роботи підстанції.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ЕКОЛОГІЯ

Вступ. Розподільча трансформаторна підстанція (РТП) 110/10 кВ використовується для пониження напруги з 110 кВ до 10 кВ, забезпечуючи постачання електроенергії споживачам середньої та низької напруги. Вона відіграє ключову роль в електроенергетичній системі, забезпечуючи ефективне розподілення електроенергії від високовольтних ліній до місцевих мереж. Основні компоненти підстанції включають силові трансформатори, високовольтні та низьковольтні розподільчі пристрої, захисні реле та інше допоміжне обладнання. РТП забезпечує стабільне живлення для промислових підприємств, комерційних та житлових об'єктів, а також сприяє зниженню втрат в електромережі завдяки пониженню напруги на місцевому рівні.

Вплив. Розподільча трансформаторна підстанція (РТП) 110/10 кВ може нести кілька видів небезпек для людини, флори і фауни, якщо не дотримуються належні заходи безпеки та екологічні стандарти.

Електромагнітні поля (ЕМП), які виникають навколо підстанції, можуть викликати занепокоєння щодо можливого впливу на здоров'я, хоча дослідження показують, що зазвичай рівні ЕМП навколо РТП є значно нижчими за гранично допустимі норми. Проте тривалий вплив на високі рівні ЕМП може бути пов'язаний з підвищеним ризиком певних захворювань, таких як лейкемія у дітей. Також є ризик електричного удару при порушенні правил безпеки або в разі аварій.

Високовольтні лінії і обладнання підстанції можуть мати вплив на птахів, що призводить до можливих зіткнень з лініями електропередачі. Електромагнітні поля можуть впливати на поведінку і навігацію деяких тварин, особливо тих, що використовують магнітні поля для орієнтації, як, наприклад, мігруючі птахи і комахи. Будівництво підстанції може спричиняти руйнування природних середовищ існування рослин і тварин, що може призвести до зменшення біорізноманіття.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання охолоджуючих рідин і мастил у трансформаторах створює ризик витоків, які можуть забруднювати ґрунт і водні ресурси, негативно впливаючи на екосистеми. Неналежне управління відходами під час будівництва і експлуатації підстанції також може призводити до екологічного забруднення.

Робота підстанції може створювати шум, який впливає на прилеглі житлові райони і дикі тварини. Постійний шум може бути стресовим фактором для тварин і впливати на їхню поведінку та відтворення.

Для мінімізації цих небезпек необхідно дотримуватися строгих стандартів і нормативів, застосовувати сучасні технології для зменшення впливу ЕМП, забезпечувати належне управління відходами і регулярно проводити моніторинг навколишнього середовища.

Заходи. Для зниження негативного впливу РТП 110/10 кВ на навколишнє середовище необхідно впроваджувати комплексні заходи, які охоплюють різні аспекти діяльності підстанції. Встановлення екрануючих конструкцій та використання технологій зниження рівня електромагнітних полів допоможе мінімізувати їхній вплив на людей і тварин. Ці технології можуть включати спеціальні матеріали та конструкції, які зменшують інтенсивність електромагнітного випромінювання. Окрім цього, використання низькошумного обладнання та звукоізоляційних матеріалів допоможе знизити шумове забруднення, яке може впливати на навколишні житлові зони та дикі тварини.

Для зменшення ризику забруднення ґрунту та води необхідно використовувати екологічно безпечні охолоджуючі рідини і мастила. Це передбачає застосування таких матеріалів, які в разі витоків не завдають значної шкоди довкіллю. Регулярне обслуговування та моніторинг обладнання дозволяють вчасно виявляти і усувати витоків і несправності, що значно зменшує ризики забруднення. Важливо також забезпечити належне управління відходами, включаючи їх безпечне зберігання, утилізацію та переробку, що допоможе уникнути накопичення шкідливих речовин.

Планування і будівництво підстанції з урахуванням природних умов території дозволяють знизити вплив на місцеву флору і фауну. Це може

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

включати вибір місця розташування, яке мінімізує втрати природних середовищ існування, і впровадження заходів щодо відновлення порушених екосистем після будівельних робіт. Використання захисних пристроїв на лініях електропередачі, таких як маркери для попередження птахів про наявність проводів, допоможе запобігти зіткненням птахів з лініями електропередачі, що є важливою складовою захисту місцевої фауни.

Інформування та залучення громадськості до процесів планування і експлуатації підстанції сприятиме кращому розумінню і підтримці екологічних заходів. Це включає проведення громадських слухань, поширення інформації про екологічні ризики і заходи безпеки, а також можливості участі громадськості у прийнятті рішень.

Дотримання екологічних стандартів і нормативів на всіх етапах - від проектування до експлуатації підстанції – є ключовим для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Це передбачає постійний контроль за виконанням вимог екологічного законодавства, проведення екологічних аудитів, а також впровадження найкращих доступних технологій та практик у сфері екологічного менеджменту. Всі ці заходи разом сприятимуть значному зменшенню негативного впливу РТП на навколишнє середовище і забезпечать сталий розвиток енергетичної інфраструктури..

Висновки. Отже, для зниження негативного впливу РТП 110/10 кВ на навколишнє середовище необхідно застосовувати комплексний підхід, який включає впровадження сучасних технологій зниження електромагнітних полів, шумозахисту, використання екологічно безпечних матеріалів, регулярне обслуговування обладнання, ретельне планування і будівництво з урахуванням природних умов, а також активну участь громадськості у процесах прийняття рішень. Дотримання екологічних стандартів і нормативів на всіх етапах функціонування підстанції є ключовим для забезпечення мінімального впливу на людей, флору і фауну, а також для сприяння сталому розвитку енергетичної інфраструктури.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Реконструкція районної трансформаторної підстанції 110/10 кВ з модернізацією розподільчого пункту 10 кВ має важливе економічне обґрунтування, що ґрунтується на декількох ключових аспектах. Перш за все, оновлення обладнання дозволяє значно підвищити надійність електропостачання. Заміна старих трансформаторів на нові, з вищим ККД, сприяє зниженню втрат електроенергії в процесі її передачі та розподілу, що безпосередньо впливає на ефективність роботи всієї системи.

Крім того, модернізація розподільчого пункту 10 кВ дає змогу оптимізувати розподіл електроенергії між споживачами. Сучасні системи моніторингу та управління дозволяють більш точно контролювати навантаження на мережу, зменшуючи ризики перевантаження та аварійних ситуацій. Це, у свою чергу, знижує витрати на технічне обслуговування та ремонти, а також підвищує загальну економічну ефективність.

З точки зору фінансових вигод, модернізація підстанції дозволяє збільшити відпуск електроенергії на ринок. За рахунок зниження технічних втрат і підвищення пропускної спроможності, можливо забезпечити додатковий обсяг електроенергії для споживачів. За попередніми розрахунками, такі заходи можуть збільшити відпуск електроенергії на 10-15%, що суттєво впливає на доходи від її реалізації [20].

Отже, реконструкція трансформаторної підстанції та модернізація розподільчого пункту є економічно доцільними заходами, які сприяють підвищенню ефективності роботи енергетичної системи, зменшенню витрат та збільшенню доходів від реалізації електроенергії.

Розрахунок капітальних вкладень для реконструкції РТП 110/10 кВ «Заводська» наведений в таблиці 6.1.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1 Кошторисно-фінансовий розрахунок капітальних вкладень

Найменування обладнання та вид робіт	Кількість	Вартість, тис. грн.	
		Одиниці	всього
Мікропроцесорна система захисту силового трансформатора RET 650	2	850	1700
Вимикачі:			
- елегазові 110 кВ	2	950	1900
- вакуумні 6 кВ	13	160	2080
Роз'єднувачі РДЗ	6	65	390
Трансформатори напруги			
- НКФ -110	3	172	344
- НТМИ-10	2	50	100
Трансформатори струму			
- ТФЗМ	3	17,2	21,6
- ТОЛ	13	15,3	68,9
ОПН:			
- EXLIM R 110 кВ	2	210	420
- ОПН-РТ/TEL-10/11,5	2	20	40
Всього капіталовкладень	-	-	7064,5

Задаємося, що встановлення нового обладнання дозволить збільшити відпуск електроенергії за рахунок зменшення втрат та перерв в електропостачанні до 5 %. За даними РЕМ за останній рік на РТП було відпущено 54487,3 МВт·год електричної енергії (див. рис. 1.1).

Тому, після модернізації кількість відпущеної електроенергії за рік збільшиться на:

$$C = 54487,3 \cdot 5\% = 2724,37 \text{ (МВт}\cdot\text{год)}.$$

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прибуток від збільшення відпуску електроенергії:

$$П = C \cdot T,$$

де T – тариф на електроенергію для другого касу напруги, грн/МВт·год.

$$П = 2724,37 \cdot 1657,67 = 4516,1 \text{ тис. грн.}$$

Термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{K_{дод}}{П}, \quad (8.2)$$

де $K_{дод}$ – додаткові капіталовкладення, тис. грн.;

$П$ – прибуток від збільшення кількості відпущеної електроенергії, тис. грн.

$$T_{ок} = \frac{7064,5}{4516,1} = 1,56 \text{ року.} \quad (8.2)$$

Показники економічної ефективності реконструкції РТП 110/10 кВ «Заводська» представлені в таблиці 6.2 і на листі графічної частини проекту №6.

Висновки. Запровадження даної розробки дозволить збільшити кількість відпущеної електроенергії на 2724,37 МВт·год на рік та отримати річний прибуток в розмірі 4516,1 тис. грн. Термін окупності проекту складе приблизно 1,6 років. На основі вище сказаного можна зробити висновок, що даний проект є економічно вигідним.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2. Показники економічної ефективності реконструкції РТП 110/10 кВ «Заводська»

Показники	варіант	
	Вихідний	Проектний
Додаткові капітальні вкладення на реконструкцію РТП 110/10 кВ, тис. грн	–	7064,5
Кількість відпущеної електроенергії, МВт·год/рік	54487,3	57211,67
Збільшення відпуску електроенергії, МВт·год/рік	–	2724,37
Прибуток від збільшення відпуску електроенергії, тис. грн.	–	4516,1
Термін окупності, років	–	1,56

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті було виконано реконструкцію районної трансформаторної підстанції 110/10 кВ «Заводська» для електропостачання споживачів м. Суми і Сумського району Сумської області.

На підстанції встановлено два трансформатори потужністю 10 МВА кожен типу ТДН-10000/110 з вбудованими трансформаторами струму та можливістю регулювання напруги під навантаженням.

Вибрані вимикачі, роз'єднувачі, вимірювальні трансформатори напруги та струму. На стороні 110 кВ прийнято до установки вимикачі елегазові ЛТВ - 145D1/В з пружинним приводом ВЛК. Зі сторони високої напруги обрано ТС типу ТФЗМ-110Б. Розраховано та обрано мікропроцесорну систему релейного захисту і автоматики силових трансформаторів. У результаті проектування захисту отриманий варіант проекту, з використанням мікропроцесорного пристрою захисту трансформатора RET 650, що задовольняє вимогам технічного завдання.

Чималу увагу приділено модернізації РП 10 кВ. На відхідних лініях встановлюємо вакуумні вимикачі ВВ/TEL. Секційний вимикач теж ВВ/TEL. Зі сторони низької напруги обрано ТС типу ТОЛ-10. При виборі електрообладнання, розглядалися різні типи обладнання і вибрані ті, що задовольняють як в нормальному, так і в аварійному режимах.

Були розглянуто питання охорони праці та екології. Запропоновано заходи щодо забезпечення безпеки при виконанні робіт та зменшення техногенного впливу на навколишнє середовище.

Запровадження даної розробки дозволить збільшити кількість відпущеної електроенергії на 2724,37 МВт·год на рік та отримати річний прибуток в розмірі 4516,1 тис. грн. Термін окупності проекту складе приблизно 1,6 років. На основі вище сказаного можна зробити висновок, що даний проект є економічно вигідним.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання, станом на 21.08.2017).

2. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник / Л. В. Давиденко, Н. В. Коменда, В. А. Давиденко, М. М. Євсюк – Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022.– 244с.

3. Основи електропостачання: підруч. / Козирський В.В., Волошин С.М., – К.: Компринт, 2021. – 497с.

4. Маліновський А.А. Основи електропостачання / А.А. Маліновський, Б.К. Хохулін. – Львів : „Львівська політехніка”, 2005. – 324 с Романюк Ю.Ф. Електричні системи та мережі. Навч.посібник. – К.: Знання, 2007.-292с.

5. Яковлев В. Ф., Смоляров Г. А. Основи електропостачання. Методичні вказівки до курсового проекту «Електропостачання населеного пункту» для студентів ОС «Бакалавр» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» - Суми: СНАУ, 2018. – 43 с.

6. Яковлев В.Ф., Мунтян В.О., Куценко Ю.М., Коваль Д.М., Ільїн. Проектування систем електропостачання в АПК. Принципи побудови СЕП. Навчальний посібник – Мелітополь: «Люкс», 2007.– 178с.

7. Козирський В. В. Електропостачання агропромислового комплексу / В. В. Козирський, В. В. Каплун, С. М. Волошин. - К. : Аграрна освіта, 2011. - 448 с.

8. Красовський Ю.Л., Кулик В.В., Лежнюк П.Д. Керування втратами електроенергії в розподільних мережах з використанням засобів АСКОВЕ // Вісник Харківського держ. техн. ун-ту сільського господ.-2003.- вип. 19. т.1.- С. 99-107.

9. В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький. Експериментальні дослідження електричних машин. частина IV. трансформатори : навч. посіб. Вінниця, 2008. 221 с.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Case Study: On-line Monitoring and Diagnostics - Transforming Power Transformer Maintenance through Real-Time Insights. Режим доступу: <https://www.linkedin.com/pulse/case-study-on-line-monitoring-diagnostics-power-through-hanif>.

11. Islam, N., Khan, R., Das, S. K., Sarker, S. K., Islam, M. M., Akter, M., & Muyeen, S. (2023). Power transformer health condition evaluation: A deep generative model aided intelligent framework. Electric Power Systems Research, 218, 109201. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109201>.

12. Soni, R., & Mehta, B. (2023). A review on transformer condition monitoring with critical investigation of mineral oil and alternate dielectric fluids. Electric Power Systems Research, 214, 108954. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108954>.

13. Некора В. С., Стилик І. Г., Ніжник В. В. Аналіз нормативних підходів щодо обмеження поширення пожежі під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності : зб. наук. праць XVI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. Львів : ЛДУ БЖД, 2021. С. 84–85.

14. Климась Р. В., Ніжник В. В. Дослідження існуючих підходів до обмеження поширення пожеж на трансформаторних підстанціях. Надзвичайні ситуації: безпека та захист : матеріали XI Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Черкаси : ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021. С. 31–33.

15. Justification of minimum parameters of gravel backfill of the oil receiver of the transformer substation / R. Klymas, V. Nizhnyk, O. Nekora, V. Nekora, I. Stylyk. The Scientific heritage. Budapest, Hungary. Vol. 3. № 79(79). 2021. P. 36–44.

16. Rian, I.U. (2018) Experimental comparison of Conventional and non-conventional optical current transformers; Norwegian University of science and technology.

17. Основи охорони праці: Навчальний посібник / За ред.. проф.. В.В. Березуцького. – Х.: Факт, 2005 – 480с.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Василенко О.О., Хворост Т.В, Семерня О.В., Кіндя О.П. (2021). Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в випускних роботах студентами спеціальностей 208 «Агроінженерія» галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузь знань 14 «Електрична інженерія», 275 «Транспортні технології» галузь знань 27 «Транспорт» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. Суми: СНАУ, 14.

19. Закон України "Про охорону праці" від 14 жовтня 1992 р. (Редакція станом на 20.01.2018).

20. Економіка та організація виробництва: Методичні вказівки до вивчення курсу для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укл. І.В. Журило, М.М. Полтавець, – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 52 с.

					КП.06.3.001.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		