

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 313.33:621.318.122

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики,
автоматики і
енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
В.о. завідувача кафедри
інженерії енергосистем

_____ /Каплун В.В./

(підпис)

« ____ » _____ 2024 р.

_____ /Антипов Є.О./

(підпис)

« ____ » _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«Підвищення енергоефективності роботи системи електропостачання з трансформаторною підстанцією 10/0,4 кВ»**

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва)

Орієнтація освітньої програми Освітньо-професійна програма
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., ДОЦЕНТ

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Усенко С.М.

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., ДОЦЕНТ

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Павленко В.М.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Решетняк Я.В.

(ПІБ)

КИЇВ – 2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
інженерії енергосистем

к.т.н доцент _____ Антипов Є.О.
(ступінь, звання) (підпис) (ПІБ)
« ____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Решетняку Ярославу Вячеславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва)

Орієнтація освітньої програми Освітньо-професійна програма
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи **«Підвищення енергоефективності роботи системи електропостачання з трансформаторною підстанцією 10/0,4 кВ»** затверджена наказом ректора Національного університету біоресурсів і природокористування України від 26.09.2024р. №1666"С"

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2024.11.15
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи Google Scholar, Wikipedia

Перелік питань, що підлягають дослідженню: Які основні причини втрат енергії у трансформаторних підстанціях 10/0,4 кВ?. Як впливає переріз проводу на втрати енергії у лініях електропередачі? Які технічні та економічні переваги забезпечує збільшення перерізу проводів? Які недоліки та технічні виклики виникають під час реконструкції ліній електропередачі? Які основні ризики пов'язані з роботою у трансформаторних підстанціях та на лініях електропередач? Які технічні, економічні та екологічні переваги використання сонячних панелей як покрівельного шару для трансформаторних підстанцій?

Перелік графічного матеріалу: презентація виконана в програмному забезпеченні MS Power Point

Дата видачі завдання «26» вересня 2024 р.

Керівник магістерської роботи _____ Павленко В.М.
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ Решетняк Я.В.
(підпис) (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена дослідженню підвищення енергоефективності систем електропостачання з використанням трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ. Основною метою роботи є розробка технічних рішень та обґрунтування заходів, спрямованих на мінімізацію втрат енергії, підвищення надійності системи та забезпечення її сталого розвитку.

Робота включає теоретичну та практичну частини. У теоретичному огляді проведено аналіз існуючих методів підвищення енергоефективності, досліджено сучасні тенденції у проектуванні та експлуатації систем електропостачання. Практична частина містить розрахунки втрат енергії при різних умовах експлуатації та пропозиції щодо їх зниження, зокрема шляхом модернізації трансформаторного обладнання та оптимізації ліній електропередачі.

Мета роботи: Розробка та обґрунтування технічних рішень для підвищення енергоефективності систем електропостачання з трансформаторними підстанціями 10/0,4 кВ шляхом зменшення втрат енергії, оптимізації параметрів мережі та забезпечення безпеки експлуатації.

Об'єкт дослідження: Система електропостачання з трансформаторною підстанцією 10/0,4 кВ, яка включає лінії електропередачі, трансформаторне обладнання та допоміжні компоненти.

Предмет дослідження: Технічні та організаційні рішення для підвищення ефективності систем електропостачання, зокрема зниження втрат енергії, впровадження трифазної системи живлення, використання трансформаторів із високим ККД та заходів з охорони праці.

Основні результати: Розроблено рекомендації щодо збільшення перерізу проводів у лініях електропередач для зниження теплових втрат.

Запропоновано перехід на трифазну систему живлення як ефективне рішення для стабілізації навантаження та зменшення втрат енергії.

Обґрунтовано вибір трансформаторів із високим ККД для оптимізації енергоспоживання.

Впроваджено комплекс заходів із охорони праці, що забезпечують безпеку роботи з електричними системами високої напруги.

Результати дослідження мають практичну значущість та можуть бути використані для вдосконалення систем електропостачання у промисловості, сільському господарстві та житлово-комунальному господарстві.

Обсяг роботи: 67 сторінок, включаючи 2 таблиці, 5 рисунків. Використано 51 літературних джерел.

Ключові слова: енергоефективність, трансформаторна підстанція, втрати енергії, трифазна система, охорона праці.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. МЕНЕДЖМЕНТ ОБСЛУГОВУВАННЯ В ПІДВИЩЕННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 3 ТРАНСФОРМАТОРНОЮ ПІДСТАНЦІЄЮ 10/0,4 КВ.....	9
1.1. Впровадження заходів менеджменту для покращення роботи з електропостачанням з трансформаторною підстанцією.....	10
1.2. Автоматизовані системи управління в електропостачанні.....	13
Висновок до розділу 1.....	17
РОЗДІЛ 2 ЗАХОДИ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ТП 10/0,4 КВ.....	18
2.1. Зміна перерізу проводу на лінії ТП 10/0,4 кВ.....	18
2.2. Вибір матеріалу для зміни перерізу кабелю.....	26
2.3. Реконструкція лінії.....	34
2.4. Перехід з однофазної на трифазну системи живлення для збільшення енергоефективності лінії.....	35
2.5. Вибір трансформатора з високим ККД для збільшення енергоефективності підстанції.....	36
2.6. Зміна розподільчого трансформатора з Westinghouse Type R до АВВ 3W2020-5.....	43
Висновок до розділу 2.....	45
РОЗДІЛ 3 СОНЯЧНІ ПАНЕЛІ, ЯК ПОКРІВЕЛЬНИЙ ШАР ДЛЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ.....	46
3.1. Перелік переваг інтеграції сонячних панелей.....	46
3.2. Розрахунок окупності сонячних панелей.....	51
Висновок до розділу 3.....	54
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ В РОБОТІ З ТРАНСФОРМАТОРНОЮ ПІДСТАНЦІЄЮ ТА МЕРЕЖЕЮ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	55

Висновок до розділу 4.....	59
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ЛЕП — Лінія електропередачі.
- ТП — Трансформаторна підстанція.
- ККД — Коефіцієнт корисної дії.
- ЗІЗ — Засоби індивідуального захисту.
- АСУ — Автоматизовані системи управління.
- СП — Самонесучий ізольований провід.
- Вт — Ват (одиниця потужності).
- А — Ампер (одиниця сили струму).
- Ом — Ом (одиниця опору).
- мм² — Квадратний міліметр (одиниця площі поперечного перерізу проводу).
- ρ — Питомий опір матеріалу.
- U — Напруга.
- N — Кількість витків у обмотках трансформатора.
- P — Потужність.
- кВт — Кіловат (одиниця потужності).

ВСТУП

Ефективне використання енергетичних ресурсів є одним із ключових викликів сучасного суспільства. У період глобального енергетичного переходу, пов'язаного з підвищенням попиту на електроенергію, впровадженням відновлюваних джерел та вимогами до зниження викидів парникових газів, особливої уваги заслуговують питання підвищення енергоефективності існуючих систем електропостачання. У цьому контексті трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ відіграють важливу роль, адже саме вони забезпечують стабільність та якість розподілу електроенергії серед споживачів. Проте більшість наявних систем мають значний потенціал для вдосконалення. Це стосується як технічного стану обладнання, так і організації процесів розподілу енергії. Втрати у лініях електропередачі, застарілі трансформатори та недосконалі схеми живлення знижують ефективність роботи систем, створюючи ризики перевантажень, нестабільності напруги та збільшення витрат.

Актуальність теми полягає у необхідності модернізації електропостачальних систем, щоб забезпечити надійність, економічність та екологічність енергоспоживання. Використання сучасних рішень, таких як оптимізація перерізу проводів, перехід на трифазну систему живлення та застосування трансформаторів із високим ККД, дозволяє не лише підвищити продуктивність, а й знизити витрати та вплив на довкілля.

Метою роботи є підвищення енергоефективності систем електропостачання шляхом комплексного вдосконалення технічних рішень і забезпечення безпеки їх експлуатації. Завдання дослідження включають аналіз причин втрат енергії у трансформаторних підстанціях і лініях електропередач, розробку рекомендацій для зменшення втрат за рахунок збільшення перерізу проводів, перехід на трифазну систему живлення як шлях до стабільного енергопостачання, обґрунтування вибору високоефективних трансформаторів і визначення комплексу заходів із охорони праці.

Об'єктом дослідження є система електропостачання з

трансформаторною підстанцією 10/0,4 кВ, а предметом – технічні та організаційні рішення для зниження втрат енергії та підвищення ефективності роботи системи. У роботі використано методи аналізу літературних джерел, технічних розрахунків, моделювання процесів у системах електропостачання та оцінку економічної ефективності запропонованих заходів.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до вирішення проблем енергоефективності, що включає технічну модернізацію, оптимізацію параметрів ліній електропередачі та безпечну організацію експлуатації систем. Практична значущість результатів дослідження дозволяє застосовувати запропоновані рішення для підвищення надійності енергопостачання у різних галузях – від промисловості до комунального господарства.

Основні положення та результати дослідження були представлені на XI Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування», яка відбулася 6–7 листопада 2024 року в м. Київ. У межах конференції була заслухана доповідь щодо підвищення енергоефективності систем електропостачання з трансформаторними підстанціями (джерело: матеріали збірника конференції).

Результати дослідження апробовані на Міжнародній науково-практичній конференції «Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК», яка пройшла 6 листопада 2024 року в м. Харків в режимі онлайн. У доповіді було обговорено вплив сучасних технічних рішень на підвищення надійності та енергоефективності розподільних мереж (джерело: програма конференції).

РОЗДІЛ 1
МЕНЕДЖМЕНТ ОБСЛУГОВУВАННЯ В ПІДВИЩЕННІ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З
ТРАНСФОРМАТОРНОЮ ПІДСТАНЦІЄЮ 10/0,4 КВ

Енергоефективність і управління обслуговуванням є центральними питаннями для сучасних енергетичних систем. Вступ до такої теми підкреслює важливість оптимізації технічного обслуговування для забезпечення надійного та ефективного функціонування електропостачання.

Трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ відіграють ключову роль у передачі електроенергії від магістральних ліній до кінцевих споживачів. Менеджмент обслуговування в цьому контексті включає ряд критичних завдань, таких як моніторинг стану обладнання, своєчасна діагностика та ремонт, а також впровадження передових технологій для зниження втрат і підвищення надійності системи[1].



Рис. 1.1. Трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ

Завдяки ретельному управлінню обслуговуванням, підприємства можуть значно підвищити ефективність своїх енергетичних систем, скоротити експлуатаційні витрати та продовжити термін служби обладнання. Важливість цього підходу зростає у світлі глобальних зусиль з енергозбереження та екологічної стійкості.

1.1. Впровадження заходів менеджменту для покращення роботи з електропостачанням з трансформаторною підстанцією.

Важливо здійснювати регулярний моніторинг стану обладнання для попередження можливих поломок. Використання сучасних технологій, таких як дистанційний моніторинг і аналіз даних, дозволяє вчасно виявляти проблеми та запобігати їх загостренню.

Створюючи детальні графіки планового обслуговування і ремонтних робіт при плануванні технічного обслуговування для підвищення енергоефективності ТП-10/0,4 кВ, допомагає мінімізувати непередбачувані зупинки та забезпечує надійність електропостачання. Це включає в себе регулярні інспекції, обслуговування та модернізацію обладнання.

Розробка детальних графіків для планового технічного обслуговування та ремонтних робіт спрямована на підвищення енергоефективності ТП-10/0,4 кВ. Це дозволяє мінімізувати непередбачувані зупинки та гарантує надійність електропостачання. У процес включені регулярні інспекції, обслуговування та модернізація обладнання[2].

Налагоджена система реагування на аварійні ситуації є ключовою для швидкого відновлення роботи системи. Це передбачає наявність чітко розробленого плану дій, підготовленого персоналу та забезпечення необхідними ресурсами для оперативного реагування на аварійні ситуації.

Ефективне управління ресурсами передбачає оптимальне використання матеріалів, людських ресурсів та фінансів. Це знижує експлуатаційні витрати, підвищує ефективність і забезпечує сталий розвиток підприємства.

Раціональне управління ресурсами передбачає оптимізацію використання матеріалів, людських ресурсів та фінансів. Це сприяє зниженню операційних витрат, підвищенню ефективності та забезпеченню сталого розвитку підприємства.

Використання сенсорних систем для постійного моніторингу температури, вологості та вібрації дозволяє вчасно виявляти потенційні

проблеми і проводити профілактичні заходи. Оптимізація графіків технічного обслуговування. Аналіз історичних даних про роботу обладнання дозволяє створювати оптимальні графіки обслуговування, що зменшує кількість аварійних ситуацій і підвищує ефективність роботи системи. Впровадження систем прогнозування відмов. Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу даних про роботу обладнання та прогнозування можливих відмов. Це дозволяє завчасно планувати ремонтні роботи і зменшити витрати на аварійне обслуговування. Ці заходи допомагають забезпечити надійність роботи системи електропостачання та підвищити її енергоефективність, що є критично важливим у сучасних умовах[4].

Приклади впровадження менеджменту обслуговування:

- Діагностика та моніторинг стану трансформаторів. Використання сенсорних систем для постійного моніторингу температури, вологості та вібрації дозволяє вчасно виявляти потенційні проблеми і проводити профілактичні заходи.
- Оптимізація графіків технічного обслуговування. Аналіз історичних даних про роботу обладнання дозволяє створювати оптимальні графіки обслуговування, що зменшує кількість аварійних ситуацій і підвищує ефективність роботи системи.
- Впровадження систем прогнозування відмов. Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу даних про роботу обладнання та прогнозування можливих відмов. Це дозволяє завчасно планувати ремонтні роботи і зменшити витрати на аварійне обслуговування.

Ці заходи допомагають забезпечити надійність роботи системи електропостачання та підвищити її енергоефективність, що є критично важливим у сучасних умовах[3].

Підвищення енергоефективності в промисловості та інших секторах економіки є критично важливим для зменшення витрат, скорочення викидів вуглецю та поліпшення загальної стійкості. Модернізація обладнання та технологічних процесів може суттєво вплинути на ці показники.

Кроки до підвищення енергоефективності:

1. Першим кроком є проведення енергетичного аудиту, який дозволяє виявити можливості для оптимізації процесів і зменшення споживання енергії.
2. Другим важливим аспектом є модернізація теплообмінного обладнання, що може зменшити втрати тепла до 50% у промислових процесах. Вибір ефективних теплообмінників, таких як пластинчасті, може підвищити ефективність на 25% у порівнянні з традиційними варіантами.
3. Використання теплових насосів: Заміна газових котлів на теплові насоси дозволяє повторно використовувати надлишкове тепло, що значно знижує потребу в традиційних паливних системах[5].
4. Впроваджуючи розумні системи управління будівлями можуть істотно скоротити енергоспоживання, зокрема знизити його на 40% завдяки оптимізації використання освітлення та вентиляції. Ці системи здатні автоматично регулювати інтенсивність освітлення відповідно до природного світла, а також контролювати роботу систем вентиляції, забезпечуючи ефективну циркуляцію повітря лише тоді, коли це необхідно.

Такий підхід не тільки сприяє зменшенню енергоспоживання, але й покращує комфорт і здоров'я мешканців будівлі, оскільки забезпечує більш стабільний і контрольований мікроклімат. Впровадження подібних рішень також дозволяє підприємствам знизити експлуатаційні витрати, підвищити стійкість до збоїв у енергопостачанні та зробити значний внесок у скорочення викидів вуглекислого газу, що є важливим для боротьби зі змінами клімату.

5. Промисловість має впроваджувати сучасні технології, що сприяють зниженню енергоспоживання. Це можна досягти за рахунок оновлення обладнання, впровадження автоматизованих систем керування процесами та використання нових матеріалів. Такі рішення дозволяють оптимізувати виробничі процеси, скоротити витрати на енергію та зменшити екологічний вплив.

6. Модернізація не лише покращує енергоефективність, але й сприяє економічному розвитку і екологічній сталості, що робить її важливим напрямком для підприємств усіх розмірів.

1.2. Автоматизовані системи управління в електропостачанні

Впроваджуючи автоматизовані системи управління (АСУ) є одним з елементів сучасного виробництва та управління, що дозволяє оптимізувати процеси, підвищити ефективність і знизити витрати. Вони складаються з апаратно-програмного забезпечення, яке забезпечує контроль і моніторинг технологічних процесів у різних сферах[6].

Основні компоненти АСУ:

- Технічні засоби включають в себе сенсори, контролери, виконавчі механізми та інше обладнання, що забезпечує ефективний збір даних і виконання команд. Сенсори відповідають за моніторинг різних параметрів системи, таких як температура, тиск, вологість та інші важливі показники. Контролери аналізують зібрані дані, приймають рішення на основі запрограмованих алгоритмів і відправляють команди виконавчим механізмам. Виконавчі механізми реалізують ці команди, виконуючи механічні або електронні дії, необхідні для підтримання належної роботи системи.
- Програмне забезпечення включає в себе системи, які відповідають за обробку даних, управління процесами та аналіз інформації. Завдяки цим системам можливо автоматизувати різні операції, забезпечити безперервний контроль за виконанням задач та покращити ефективність роботи підприємств. Програмне забезпечення допомагає оптимізувати процеси, дозволяючи швидко обробляти великі обсяги даних, виявляти закономірності та приймати обґрунтовані рішення на основі аналітики.

Таким чином, ці системи відіграють ключову роль у підвищенні продуктивності та якості роботи, забезпечуючи зручний інструментарій для виконання складних завдань і аналізу важливих показників[7].

- Кваліфіковані фахівці відіграють вирішальну роль у налаштуванні, обслуговуванні та моніторингу систем. Вони володіють спеціалізованими знаннями та навичками, необхідними для забезпечення безперебійної роботи обладнання та оптимізації процесів.

Ці фахівці відповідальні за регулярні перевірки і діагностику систем, що дозволяє вчасно виявляти і усувати потенційні проблеми. Вони також проводять технічне обслуговування, яке включає в себе оновлення програмного забезпечення, заміну зношених деталей та налаштування параметрів роботи систем для досягнення максимальної ефективності.

Крім того, професійні спеціалісти здійснюють постійний моніторинг роботи систем, використовуючи передові технології та аналітичні інструменти для збору та аналізу даних. Це дозволяє оперативно реагувати на будь-які відхилення від нормальної роботи та проводити профілактичні заходи для запобігання аварійним ситуаціям[10].

Завдяки злагодженій роботі кваліфікованих фахівців забезпечується надійність і стабільність функціонування систем, що в свою чергу сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів та зниженню витрат на обслуговування.

Переваги впровадження АСУ:

- Автоматизація дозволяє зменшити час на виконання завдань і підвищити продуктивність праці.
- Оптимізація ресурсів призводить до зменшення витрат на енергію та сировину.
- Завдяки точному контролю технологічних процесів знижується ймовірність помилок і дефектів.
- Безпека: АСУ дозволяють зменшити ризики для персоналу, особливо в небезпечних умовах.

Впровадження автоматизованих систем управління є необхідним кроком для підприємств, які прагнуть підвищити свою

конкурентоспроможність на ринку. АСУ не лише оптимізують виробничі процеси, але й сприяють економії ресурсів і покращенню безпеки праці.

Втрати енергії в трансформаторних підстанціях є важливим аспектом, оскільки вони безпосередньо впливають на ефективність електричних систем. Основні джерела втрат можна класифікувати на кілька категорій, а також існують методи їх зменшення. Основними джерелами втрат є:

Втрати в обмотках: Виникають через опір проводу, що призводить до нагрівання обмоток за законом Джоуля:

$$P = I^2 R, \quad (1.1)$$

де P — потужність втрат, Вт;

I — струм, А;

R — опір обмоток, Ом.

Втрати на магнітне насичення: ці втрати пов'язані з матеріалом ядра трансформатора, яке підлягає циклічному магнітному насиченню. Це викликає енергетичні витрати через повторну магнітизацію матеріалу.

Втрати в проводах виникають через опір матеріалу проводів, що веде до додаткових теплових втрат при передачі електроенергії. Енерговтрати в проводах зумовлені опором матеріалу, з якого вони виготовлені. Цей опір призводить до додаткових теплових втрат під час передачі електроенергії, оскільки частина енергії витрачається на нагрівання провідників. Таким чином, енергоефективність системи передачі знижується, а також збільшуються витрати на виробництво та передачу електроенергії[9].

Зниження втрат у проводах може бути досягнуто за рахунок використання матеріалів з меншим опором, збільшенням перерізу проводів або впровадженням новітніх технологій, що зменшують опір. Також важливим фактором є оптимізація конструкції систем передачі електроенергії для мінімізації загальних втрат.

Для зменшення втрат енергії в трансформаторних підстанціях можуть бути застосовані такі методи:

1. Заміна старих кабелів на нові, із меншою опірністю, сприяє зменшенню теплових втрат під час передачі електроенергії. Використання кабелів із меншим опором дозволяє ефективніше передавати енергію, знижуючи тим самим втрати, що виникають через нагрівання провідників. Це підвищує загальну енергоефективність системи та сприяє економії ресурсів.

2. Використання високоефективних трансформаторів із низькими втратами (наприклад, з ламінованими ядрами для зменшення вихрових струмів і гістерезису) може суттєво підвищити загальну ефективність системи.

3. Оптимізація навантаження між фазами дає рівномірний розподіл навантаження між фазами дозволяє уникнути перевантажень і зменшити втрати енергії.

Застосування цих методів не лише покращує ефективність роботи трансформаторних підстанцій, але й сприяє економії ресурсів та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище[11].

Підвищення кваліфікації персоналу є важливим аспектом менеджменту обслуговування. Регулярні тренінги та навчальні програми допомагають працівникам адаптуватися до новітніх технологій і методів роботи, що, в свою чергу, сприяє підвищенню загальної продуктивності організації.

Форми навчання включають в себе лекції, семінари, практичні заняття та ділові ігри, що дозволяють працівникам отримувати нові знання та навички у зручному форматі.

Важливо забезпечити безперервний процес підвищення кваліфікації, оскільки технології постійно змінюються, і працівники повинні бути готовими до нових викликів.

Створюючи стратегії енергозбереження є важливим кроком для зменшення споживання електроенергії в організаціях. Це може включати:

Впровадження нових технологій: Застосування сучасних енергоефективних технологій може значно знизити витрати на електроенергію.

1. Оптимізуючи графіки роботи обладнання допомагає уникати пікових

навантажень, може значно зменшити споживання енергії. Це включає аналіз та коригування часу включення і вимикання обладнання відповідно до періодів найменшої потреби в енергії, що дозволяє максимально знизити навантаження на електромережу та зменшити витрати на енергопостачання.

2. Зменшення пікових навантажень: Використання накопичувачів енергії дозволяє зберігати електричну енергію під час низького споживання і використовувати її під час пікових навантажень, що також допомагає знижувати витрати[12].

Застосування цих організаційних заходів не лише підвищує ефективність роботи підприємства, але й сприяє сталому розвитку та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.



Рис.1.1. Блок-схема основних заходів для підвищення енергоефективності в електропостачанні

Висновок до розділу 1

Менеджмент обслуговування в системах електропостачання є ключовим фактором у забезпеченні їхньої енергоефективності. Застосування сучасних технологій, регулярне технічне обслуговування та навчання персоналу можуть суттєво покращити ефективність роботи трансформаторних підстанцій. У

результаті цього можна досягти значної економії електроенергії і зниження експлуатаційних витрат, що є важливим аспектом у сучасному світі, де питання енергозбереження стає все більш актуальним.

РОЗДІЛ 2

ЗАХОДИ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ТП 10/0,4 КВ

2.1. Зміна перерізу проводу на лінії ТП 10/0,4 кВ

У сучасних умовах зростаючого навантаження на електричні мережі все частіше виникає потреба в модернізації інфраструктури електропостачання. Одним із ключових аспектів цієї модернізації є збільшення перерізу проводів на лініях електропередачі. Це рішення стає особливо актуальним у зв'язку зі збільшенням споживання електроенергії, розвитком інфраструктури, підключенням нових об'єктів та потребою у забезпеченні більшої надійності та ефективності роботи мереж.

Переріз проводу є однією з найважливіших характеристик, що впливають на його здатність передавати електричну енергію з мінімальними втратами та забезпечувати належну якість електропостачання. Збільшення перерізу проводів на лінії електропередачі дозволяє знизити опір проводу, збільшити його струмопровідну здатність та покращити стабільність напруги в системі. Разом із тим, це рішення пов'язане з певними технічними і економічними труднощами, які потребують ретельного аналізу перед його впровадженням.

Метою даної роботи є розгляд переваг і недоліків зміни перерізу проводу на лінії електропередачі, аналіз технічних характеристик, які впливають на вибір проводу, та оцінка впливу такого рішення на загальну ефективність роботи електричних мереж[14].



Рис. 2.1 Зображення розрізу кабелю

Основною причиною збільшення перерізу проводу є зростання навантаження на лінії електропередачі. У міру зростання споживання електроенергії, особливо у промислових регіонах та в міських агломераціях, старі мережі стають неспроможними задовольнити попит на електроенергію. Це призводить до перевантаження ліній, зростання втрат енергії, нестабільності напруги та частих аварійних ситуацій.

Сучасні вимоги до надійності та якості електропостачання вимагають створення резерву потужності в мережах, що особливо важливо для критичних об'єктів інфраструктури, таких як лікарні, великі промислові підприємства, транспортні вузли тощо. Для того, щоб забезпечити безперебійне електропостачання в умовах зростання навантажень, часто необхідно збільшити пропускну здатність ліній, що досягається за рахунок збільшення перерізу проводів.

Збільшення перерізу проводу призводить до значного покращення технічних параметрів лінії електропередачі. Перш за все, зменшується опір проводу, що дозволяє знизити втрати електроенергії на нагрівання та підвищити загальну ефективність системи. Зменшення втрат енергії особливо важливе на великих відстанях, де провід з високим опором може призводити до значних енергетичних витрат[15].

Окрім зниження втрат, збільшення перерізу проводу дозволяє підвищити його струмопровідну здатність. Це означає, що через провід може

проходити більший струм без ризику перегріву та пошкодження ізоляції. Таким чином, лінії з більшим перерізом проводів можуть передавати більші обсяги електроенергії без ризику перевантаження, що особливо важливо для мереж, які працюють на межі своїх можливостей.

Також збільшення перерізу проводів сприяє покращенню якості електропостачання. Стабільність напруги у кінцевих точках мережі залежить від опору ліній, а зниження цього опору дозволяє зменшити коливання напруги під час зміни навантаження. Це покращує роботу електрообладнання споживачів, підвищує його надійність та знижує ризик пошкодження через перенапруги або недостатнє живлення.

Зміна перерізу проводу на лінії електропостачання може мати низку важливих переваг, що впливають на загальну ефективність, надійність та економічність роботи електричних мереж[13].

Основною перевагою збільшення перетину проводу є зменшення його активного опору, що, у свою чергу, знижує втрати потужності у вигляді тепла. Це відбувається завдяки формулі:

$$P_{\text{втрати}} = I^2 \times R, \quad (2.1)$$

де I — сила струму, А;

R — опір проводу, Ом, що обернено пропорційний перетину. Чим більший перетин, тим менший опір і менші втрати енергії.

Збільшення перерізу проводу призводить до зменшення кількості тепла, що виділяється під час проходження струму. Це позитивно впливає на термін служби обладнання та його стабільність у роботі. Менше тепловиділення означає, що провідники менше нагріваються, що сприяє зниженню ризику аварійних ситуацій та пошкодження ізоляції проводів.

Таким чином, оптимізація перерізу проводу допомагає підтримувати стабільну температуру в електричній системі, що є важливим для безпеки та надійності. Це також сприяє зниженню витрат на технічне обслуговування та ремонт, оскільки менш нагріті провідники вимагають менш частого втручання. В результаті, такі заходи покращують загальну ефективність і

стабільність електропостачання, а також підтримують більш тривалий термін експлуатації обладнання.

Зменшення опору в лінії не тільки знижує втрати електроенергії, але й сприяє підтримці стабільної напруги на її кінцях. Це допомагає уникнути коливань і падіння напруги, що позитивно впливає на роботу електроприладів. Стабільна напруга важлива для їх ефективного функціонування, адже забезпечує надійну та безперебійну роботу техніки. Крім того, стабільна напруга знижує ризик пошкодження електроприладів через перепади напруги, що може подовжити їх термін експлуатації та зменшити витрати на ремонт і заміну обладнання.

Використання якісних матеріалів для електропроводки, правильне проектування електричних мереж та регулярне технічне обслуговування допоможуть забезпечити оптимальні умови для мінімізації опору ліній. Це включає в себе належне з'єднання проводів, уникнення механічних пошкоджень і захист від корозії[16].

Такі заходи є важливою частиною стратегії підвищення енергоефективності та надійності системи електропостачання. Вони дозволяють знизити загальні витрати на енергопостачання, підвищити надійність та довговічність обладнання, а також зменшити негативний вплив на навколишнє середовище за рахунок зниження споживання енергії.

Мінімізація втрат енергії та поліпшення ефективності передачі електроенергії дозволяє зменшити витрати на оплату втраченої енергії. Зміна перетину проводу також може зменшити потребу в частому технічному обслуговуванні через зниження навантажень на мережу та обладнання.

Збільшення перетину проводу сприяє зменшенню кількості тепла, що виділяється під час проходження струму. Це явище позитивно впливає на термін служби електрообладнання, оскільки зменшується ризик перегріву, який може призвести до пошкодження ізоляції та аварійних ситуацій. Менша кількість тепла, що виділяється, також забезпечує стабільніші умови роботи для проводів та з'єднань, мінімізуючи зношення матеріалів.

Крім того, збільшення перетину проводу підвищує ефективність передавання електроенергії, оскільки зменшуються втрати на нагрівання провідника. Це дозволяє не лише знизити енергетичні витрати, але й покращити загальну стабільність системи електропостачання. Такий підхід сприяє надійнішій експлуатації електромереж та зменшенню витрат на ремонт і технічне обслуговування[17].

Менші втрати та стабільніша напруга знижують кількість відмов і аварійних ситуацій у мережі. Більший перетин забезпечує кращу стійкість до перевантажень та аварійних ситуацій, що особливо важливо для критичних об'єктів або промислових споживачів.

Розширюючи перетин проводів створює важливий резерв для подальшого розвитку електромережі та підключення нових споживачів. Завдяки цьому немає потреби в заміні всієї інфраструктури при збільшенні навантаження. Такий підхід є стратегічною перевагою при плануванні розширення або модернізації системи електропостачання, оскільки забезпечує гнучкість і готовність до майбутніх вимог.

Це дозволяє не тільки скоротити витрати на модернізацію, але й уникнути значних простоїв у роботі мережі. Заздалегідь передбачивши можливе зростання попиту, можна зберегти ефективність роботи та надійність електропостачання на високому рівні.

Зниження втрат енергії на нагрівання та підвищення ефективності системи призводять до економії електроенергії, що, в свою чергу, зменшує загальне споживання енергоресурсів та викиди парникових газів під час її виробництва.

Збільшення перетину проводу на лінії електропередачі має безліч переваг, серед яких зниження втрат енергії, підвищення надійності та якості електропостачання, зменшення експлуатаційних витрат та створення умов для подальшого розвитку мережі. Це дозволяє оптимізувати роботу системи електропостачання та підвищити її ефективність[18].

Хоча збільшення перетину проводу на лінії електропередачі і має багато

переваг, також супроводжується певними недоліками. Вони стосуються як технічних, так і економічних аспектів. Ось основні недоліки, які варто враховувати при такому рішенні:

Збільшення перетину проводу означає використання більшої кількості металу (алюмінію або міді), що прямо впливає на вартість самих проводів. Наприклад, провід із більшим перетином 95 мм^2 коштуватиме значно дорожче, ніж провід із перетином 35 мм^2 . Для великих проектів це може бути суттєвим фінансовим обтяженням.

Проводи з більшим перетином мають велику масу, що підвищує механічне навантаження на опори та конструкції лінії електропередачі. Це може призвести до необхідності модернізації або заміни опор, фіксаторів, кріплень та тросів, що збільшує загальні витрати на модернізацію. Додаткове навантаження може також потребувати посилення або заміни існуючих конструкцій для забезпечення їхньої надійності та безпеки[19].

Проводи з великим перетином мають більший діаметр і вагу, що ускладнює їх прокладку та монтаж. Це може потребувати використання спеціальної техніки та інструментів, а також залучення кваліфікованого персоналу, що підвищує вартість і терміни виконання робіт.

У деяких випадках збільшення перетину проводу може погіршити здатність мережі ефективно керувати потоком електроенергії, особливо в розгалужених системах. Великі перетини можуть призводити до несиметрії навантажень, що потребує додаткових заходів з балансування мережі.

Якщо перетин проводу значно збільшується без відповідного зростання навантаження на лінію, це може призвести до неефективного використання ресурсів. Лінії з надмірно великим перетином можуть працювати з низьким коефіцієнтом корисної дії (ККД), оскільки втрати на холостий хід можуть стати значними порівняно з навантаженням.

Збільшення перетину проводу в існуючих мережах може бути складним через застарілу інфраструктуру. Встановлення проводів з більшим перетином може вимагати модернізації не лише лінії, але й підстанцій, розподільчих

щитів та інших елементів мережі, що збільшує загальну вартість проекту.

Проводи з великим перетином можуть генерувати більшу кількість реактивної потужності, що потребує додаткових заходів для її компенсації, таких як установка конденсаторних батарей або інших пристроїв для корекції коефіцієнта потужності.

Хоча збільшення перетину може знизити втрати енергії, витрати на закупівлю та монтаж можуть бути значними. Внаслідок цього термін окупності проекту може стати довшим, особливо якщо навантаження на лінію не зросте до очікуваних рівнів[20].

Незважаючи на значні переваги збільшення перетину проводу, такі як зниження втрат та підвищення пропускної здатності, цей крок може бути недоцільним без детального аналізу всіх технічних та економічних факторів.

Висока вартість, складність монтажу та необхідність модернізації інфраструктури можуть стати серйозними перешкодами. Тому рішення про зміну перетину проводів варто приймати з урахуванням довгострокової доцільності та потреб конкретної електромережі.

2.2. Вибір матеріалу для зміни перерізу кабелю

Зміна перерізу проводу є важливим аспектом проектування електричних систем, що впливає на їхню ефективність, безпеку та надійність. Вибір матеріалів для проводу визначає його електричні характеристики, механічну міцність, корозійну стійкість та вартість. У цьому розділі ми розглянемо основні матеріали, які використовуються для виготовлення проводів, їхні переваги та недоліки, а також сучасні технології, що дозволяють змінювати переріз проводу.

Мідь є одним з найпоширеніших матеріалів для виготовлення електричних проводів завдяки своїм відмінним електричним властивостям. Вона має високу електропровідність (близько 58 мСм/м), що дозволяє зменшити втрати енергії при передачі електрики. Мідь також

характеризується хорошою механічною міцністю та корозійною стійкістю, що робить її ідеальним вибором для використання в різних умовах експлуатації[21].

Переваги міді:

- Мідь має електропровідність, яка в 5-6 разів вища, ніж у сталі і значно перевищує показники алюмінію. Це дозволяє зменшити втрати енергії при передачі електрики.
- Мідь проводить тепло в 2 рази краще, ніж алюміній, і в 10 разів краще, ніж нержавіюча сталь. Це робить її ідеальною для застосування в системах опалення та охолодження.
- Мідь має високу міцність на розрив та здатність витримувати великі навантаження при однаковому перерізі. Це робить її менш схильною до зносу.
- Мідь легко піддається обробці, може бути випущена у вигляді дуже тонкої жили, що робить її універсальною для різних застосувань.
- Мідь стійка до корозії і окислення. Хоча вона може окислюватися, це відбувається повільно, а утворена окисна плівка не заважає проведенню електричного струму.
- Мідь має природні бактерицидні властивості, що робить її безпечною для використання в системах водопостачання та посуді.
- При правильному використанні мідні труби можуть прослужити до 50 років без значних проблем.

Недоліки міді:

- Мідь є дорогим матеріалом у порівнянні з алюмінієм. Це може зробити проекти з використанням міді менш економічно вигідними.
- Мідні проводи важчі за алюмінієві, що може бути проблемою для деяких конструкцій та монтажу.
- З'єднання міді з іншими металами (наприклад, сталлю або алюмінієм) може викликати електрохімічні процеси, що прискорюють корозію.
- Через високу теплопровідність мідних труб необхідно використовувати

спеціальні ізоляційні матеріали для запобігання втратам тепла.

- Обмеження в застосуванні: У деяких випадках мідь не може бути використана через її реакцію з певними хімічними речовинами або продуктами харчування, що може призвести до небажаних реакцій.

Узагальнюючи, мідь є чудовим матеріалом для багатьох застосувань завдяки своїм відмінним фізичним властивостям, проте варто враховувати її недоліки при виборі матеріалу для конкретних проектів[22].

Алюміній є ще одним популярним матеріалом для виготовлення проводів. Він має нижчу електропровідність (близько 37 мСм/м) порівняно з міддю, але його легкість і вартість роблять його привабливим варіантом для багатьох застосувань.

Переваги алюмінію:

- Алюміній є значно легшим за мідь, приблизно на 30-50% (залежно від марки). Це полегшує монтаж і зменшує навантаження на електричні опори та ізолятори, що особливо важливо для повітряних ліній електропередач.
- Алюміній є більш економічним варіантом у порівнянні з міді. Його ціна може бути втричі меншою, що робить його привабливим вибором для великих проектів, де бюджет є критично важливим.
- Алюміній природно утворює оксидну плівку, яка захищає його від корозії. Це робить алюмінієві проводи придатними для використання в умовах підвищеної вологості та агресивного середовища.
- Легка вага алюмінію спрощує прокладання довгих і товстих кабелів, що може бути важливим при виконанні електромонтажних робіт.
- Для досягнення необхідної провідності алюміній може бути використаний у більших перерізах, що дозволяє зменшити опір і втрати енергії при передачі струму.

Недоліки алюмінію:

- Провідність алюмінію приблизно на 30% нижча за провідність міді. Це означає, що для досягнення такої ж пропускної здатності алюмінієві дроти

повинні мати більший переріз, що може ускладнити їх монтаж і використання.

- Алюміній менш міцний і гнучкий порівняно з міді. Він може ламатися після кількох згинань (в середньому витримує близько 12 згинань), тоді як мідні жили можуть витримувати більше 80 перегинів без пошкодження.
- З'єднання алюмінієвих проводів може бути більш складним через їхню крихкість. Зазвичай для цього використовують спеціальні клеми або гвинти, оскільки звичайне скручування може призвести до руйнування проводу.
- Алюміній не піддається звичайному паянню через утворення щільної оксидної плівки, що ускладнює процес ремонту та обслуговування проводів.
- При безпосередньому контакті з міддю алюміній може піддаватися корозії через утворення гальванічної пари. Це означає, що такі з'єднання потребують додаткового захисту від вологи та корозії.

Алюміній має свої переваги, такі як легкість і низька вартість, які роблять його привабливим вибором для багатьох електричних застосувань. Проте його нижча електропровідність та механічна міцність можуть бути суттєвими недоліками в порівнянні з міддю. Вибір між міддю та алюмінієм залежить від конкретних вимог проекту та умов експлуатації проводів[23].

Сплави міді та алюмінію також використовуються для виготовлення проводів. Вони можуть поєднувати переваги обох матеріалів і зменшувати їх недоліки. Наприклад, сплави міді з нікелем або цинком можуть підвищити корозійну стійкість і механічну міцність.

Сучасні технології дозволяють використовувати композитні матеріали для виготовлення проводів. Ці матеріали можуть поєднувати властивості різних компонентів, таких як волокна та метали, щоб забезпечити високу міцність при низькій вазі. Композитні матеріали можуть бути особливо корисними в умовах високих температур або агресивного середовища.

Ізоляційні матеріали є важливим компонентом електричних систем, оскільки вони забезпечують безпеку, захищаючи проводи від коротких замикань, механічних пошкоджень та впливу зовнішніх факторів. Вибір правильного ізоляційного матеріалу залежить від умов експлуатації, типу

проводів і вимог до безпеки.

Основні види ізоляційних матеріалів

Полівінілхлорид (ПВХ):

- ПВХ є одним з найпоширеніших ізоляційних матеріалів завдяки своїй стійкості до вологи, хімічних речовин і механічних пошкоджень. Він також має хороші електричні характеристики.
- Використовується для виготовлення кабелів середньої напруги, а також у побутових електроприладах. ПВХ-ізоляція забезпечує надійний захист і тривалий термін служби проводів.
- Зазвичай витримує температури від -15 до $+70$ °С.

Поліетилен:

- Поліетилен є легким і гнучким матеріалом, що має хорошу діелектричну міцність. Він також стійкий до вологи та ультрафіолетового випромінювання.
- Широко використовується для виготовлення кабелів, які підлягають прокладці в землі або в умовах підвищеної вологості[25]. Поліетиленова ізоляція забезпечує високу надійність та довговічність.
- Температурний діапазон поліетилену зазвичай витримує температури від -40 до $+85$ °С.

Фторопласт (PTFE):

- Фторопласт має виняткові діелектричні характеристики, високу термостійкість і стійкість до агресивних хімічних речовин. Це робить його ідеальним для використання в умовах високих температур.
- Використовується в спеціалізованих кабелях, які працюють при високих температурах або в агресивних середовищах (наприклад, в авіаційній та космічній промисловості).
- Може витримувати температури до $+260$ °С без втрати своїх характеристик.

Додаткові ізоляційні матеріали

- Використовується для зовнішньої ізоляції кабелів завдяки своїй

водостійкості та механічній міцності[24].

- Використовуються як діелектрики у високовольтних установках через їх високу електричну міцність.
- Використовуються для ізоляції місць з'єднань проводів. При нагріванні вони зменшуються у розмірах, щільно облягаючи провідник.

Методи зміни перерізу проводу

Сучасні технології дозволяють змінювати переріз проводу без його заміни, що може бути важливим у багатьох електричних системах. Існує кілька методів, які використовуються для цього, кожен з яких має свої переваги та специфікації. Розглянемо основні з них.

З'єднання кількох проводів однакового перерізу

Цей метод полягає у з'єднанні декількох проводів однакового перерізу для збільшення загальної пропускної здатності системи.

Переваги:

- З'єднуючи кілька проводів, можна знизити загальний електричний опір, що дозволяє зменшити втрати енергії.
- Цей метод дозволяє адаптувати систему під конкретні вимоги, наприклад, при прокладанні проводів у важкодоступних місцях.
- З'єднання проводів може бути виконане за допомогою клемних колодок або інших з'єднувальних елементів, що забезпечують надійний контакт[26].

Зварювання проводів

Зварювання проводів є одним із найбільш надійних методів з'єднання електричних провідників. Цей процес забезпечує цілісне з'єднання, яке характеризується високою міцністю та низькими електричними втратами. Зварювання часто використовується в промислових і комерційних електричних системах, де важлива надійність і довговічність з'єднань.

Процес зварювання проводів

- Перед зварюванням кінці проводів очищаються від ізоляції, щоб забезпечити хороший контакт між металами. Це може бути зроблено за

допомогою ножа або спеціального інструменту для зняття ізоляції.

- Поверхні проводів також можуть бути очищені від окислів або забруднень, що покращує якість зварювання.
- Для зварювання використовують спеціальний зварювальний апарат, який може бути різного типу: електродний, контактний або дуговий.
- Залежно від типу зварювання, можуть використовуватися електроди та флюс (матеріал, що запобігає окисленню).
- Після підготовки проводів їх розміщують у зварювальному апараті.
- У процесі зварювання електричний струм проходить через контакти, що викликає нагрівання металу до температури плавлення.
- Коли метал плавиться, відбувається його змішування, після чого він охолоджується і затвердіває, утворюючи міцне з'єднання.

Переваги зварювання проводів

- Зварене з'єднання має високу міцність і стійкість до механічних навантажень. Відсутність окислення на місці з'єднання підвищує довговічність і надійність контакту[27].
- Зварювання дозволяє досягти низького переходного опору між провідниками, що забезпечує ефективну передачу електричного струму без значних втрат енергії.
- Зварені з'єднання здатні витримувати вібрації та механічні навантаження, що робить їх ідеальними для використання в умовах промислового виробництва та транспорту.
- Зварені контакти мають тривалий термін служби, оскільки вони менш схильні до корозії та окислення в порівнянні зі звичайними механічними з'єднаннями[28].

Недоліки зварювання проводів

- Для виконання зварювальних робіт потрібне спеціальне обладнання (зварювальні апарати), яке може бути дорогим і вимагати регулярного обслуговування.

- Зварювання вимагає певних навичок і досвіду для досягнення якісного результату. Неправильне виконання може призвести до слабких або ненадійних з'єднань[29].
- Не всі матеріали можуть бути зварені між собою. Наприклад, алюміній і мідь потребують спеціальних умов для успішного з'єднання через різницю в їхніх фізичних властивостях.
- Процес підготовки та виконання зварювання може займати більше часу в порівнянні з іншими методами з'єднання (наприклад, скручуванням або використанням клем).

Зварювання проводів є ефективним методом для створення надійних електричних з'єднань, які забезпечують високу продуктивність і довговічність системи. Однак цей метод вимагає спеціального обладнання та навичок, що може обмежити його використання в деяких випадках. Правильний вибір методу з'єднання залежить від конкретних умов експлуатації та вимог до безпеки електричної системи[30].

Використання термозбіжних трубок

Термозбіжні трубки використовуються для ізоляції місць з'єднань після зміни перерізу проводу. Це простий і ефективний спосіб забезпечення електричної безпеки та захисту від зовнішніх впливів.

- Після з'єднання проводів термозбіжна трубка надягається на місце з'єднання.
- Нагрівання трубки призводить до її стискання і щільного облягання проводу, що забезпечує герметичність та ізоляцію.
- Захист від механічних пошкоджень: Трубки забезпечують додатковий захист від механічних впливів і вологи[33].
- Легкість в установці: Процес установки термозбіжних трубок є простим і не вимагає спеціального обладнання.

Методи зміни перерізу проводу без його заміни включають з'єднання кількох проводів, зварювання та використання термозбіжних трубок. Кожен із

цих методів має свої переваги та недоліки, які слід враховувати при виборі оптимального рішення для конкретного проекту. Важливо дотримуватись стандартів безпеки та технологічних вимог для забезпечення надійності електричних систем[31].

Таким чином, вибір матеріалів та технологій для виготовлення електричних проводів є ключовим фактором для забезпечення їхньої ефективності та надійності в експлуатації.

2.3. Реконструкція лінії

Щоб розрахувати зміну перерізу проводу при переході з СІП (самонесучого ізолюваного проводу) СІП-4*35 на СІП-4*95, потрібно врахувати такі параметри:

Перетин проводу (S): Це основна характеристика. Маємо два варіанти:

- СІП-4*35: перетин кожної жили 35 мм².
- СІП-4*95: перетин кожної жили 95 мм².

Струмопровідна здатність (I): Чим більший перетин проводу, тим більший струм він може проводити. Для мідних і алюмінієвих проводів існують стандартизовані значення для струмопровідної здатності, які можна знайти в таблицях для конкретних типів проводів[32].

Опір проводу (R): Опір проводу зменшується зі збільшенням перетину. Це важливо, оскільки зменшення опору призводить до зниження втрат енергії на нагрівання.

Для спрощення розрахунку ми можемо оцінити зміну опору та максимального струму при переході з одного перетину на інший. При цьому врахуємо, що:

Опір проводу прямо пропорційний довжині проводу і обернено пропорційний перетину. Формула для розрахунку опору:

$$R = \rho \times \frac{L}{S} \quad (2.1)$$

де ρ — питомий опір матеріалу (для алюмінію приблизно $0.028 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$);

L — довжина проводу, м;

S — перетин проводу, мм.

Оскільки ρ та L не змінюються, зміна опору буде пропорційною зміні перетину[34].

Перетин змінюється з 35 мм^2 до 95 мм^2 . Це співвідношення визначає зміну опору:

$$\text{Відносна зміна опору} = \frac{S_{\text{старе}}}{S_{\text{нове}}} = \frac{35}{95} \approx 0.368 \quad (2.2)$$

Це означає, що при переході з СІП-4*35 на СІП-4*95 опір проводу зменшиться приблизно на 63,2%.

Максимальний струм для проводів залежить від перетину. Для алюмінієвих проводів приблизно можна прийняти такі значення:

- СІП-4*35: максимальний струм близько 140-160 А.
- СІП-4*95: максимальний струм близько 240-260 А.

Тобто, збільшення перетину дозволяє пропускати майже вдвічі більший струм через провід, що знижує ризик перегріву і втрати енергії[36].

При переході з СІП-4*35 на СІП-4*95 ми отримаємо такі переваги:

- Зменшення опору на 63,2%, що знизить втрати енергії в лінії.
- Збільшення струмопровідної здатності майже вдвічі, що дозволить передавати більший струм без ризику перегріву.

Цей перехід може бути доцільним, якщо є потреба у збільшенні навантаження або зменшенні втрат в лінії. При перерізі СІП-4*95 ми можемо спокійно пропускати 200 кВт потужності.

2.4. Перехід з однофазної на трифазну системи живлення для збільшення енергоефективності лінії

Перехід з однофазної на трифазну систему живлення є важливим кроком у підвищенні ефективності енергетичних систем, особливо в промисловості та

комерційному секторі. Це стосується як технічних, так і економічних аспектів, які впливають на загальну продуктивність і стійкість енергосистеми.

Електричні системи, як відомо, складаються з генераторів, трансформаторів і ліній передачі, які передають електроенергію від джерел генерації до кінцевих споживачів. Вони можуть бути однофазними або трифазними, залежно від кількості фазних проводів[35].

Однофазні системи зазвичай використовуються для побутових потреб і включають одну фазу та нульовий провід. Це робить їх конструктивно простішими, але вони менш ефективні при обслуговуванні великих навантажень. У таких системах напруга змінюється синусоїдально, і вони підходять для живлення невеликих побутових приладів і освітлення, де немає потреби у великій потужності. [37]

Застосування однофазних систем зазвичай обмежується приватними будинками, квартирами та невеликими комерційними об'єктами, де вимоги до споживаної потужності порівняно невеликі. Водночас їхнє використання в більш складних та енергоємних системах може призвести до зниження ефективності і збільшення втрат енергії.

Трифазні системи широко використовуються в промислових і комерційних додатках, де є потреба у високій потужності. Вони складаються з трьох фаз, що дозволяє більш ефективно розподіляти енергію і знижувати втрати. Завдяки цьому, такі системи можуть забезпечити стабільнішу і надійнішу подачу енергії для великого обладнання та виробничих процесів.

Трифазна система має численні переваги, які роблять її ідеальним вибором для промислових та комерційних додатків. По-перше, вона дозволяє більш ефективно розподіляти електричне навантаження між трьома фазами. Це знижує втрати енергії та покращує стабільність роботи системи, оскільки навантаження розподіляється рівномірно, і кожна фаза працює з меншим струмом, ніж в однофазній системі[38].

Трифазні системи також здатні передавати більшу потужність. Це особливо важливо для промислових підприємств, де потрібні великі

потужності для живлення виробничого обладнання та машин. Використання трифазних систем дозволяє забезпечити надійну подачу енергії, зменшуючи ризик перевантаження та пов'язаних з ним несправностей[39].

Ще однією важливою перевагою трифазних систем є ефективність обладнання. Трифазні двигуни, наприклад, мають вищий коефіцієнт корисної дії (ККД) у порівнянні з однофазними двигунами. Вони працюють більш стабільно, з меншою кількістю вібрацій та теплових втрат, що дозволяє знизити витрати на електроенергію та технічне обслуговування. Це особливо важливо для підприємств, які прагнуть зменшити операційні витрати та підвищити ефективність виробництва.

Зниження втрат енергії є ще однією перевагою трифазних систем. Завдяки рівномірному розподілу навантаження та меншому струму на кожному фазу, втрати енергії в проводах і трансформаторах значно менші. Це забезпечує ефективніше використання електроенергії, зменшуючи витрати на її виробництво і транспортування.

Крім того, перехід на трифазну систему створює резерв для подальшого розвитку мережі та підключення нових споживачів. Це стратегічно вигідно, оскільки дозволяє розширювати або модернізувати систему електропостачання без необхідності повної заміни інфраструктури. Такий підхід забезпечує гнучкість і готовність до майбутніх змін у попиті на електроенергію.

Однак важливо враховувати, що проводи з більшим перетином, які використовуються в трифазних системах, мають більшу масу. Це збільшує механічне навантаження на опори та конструкції ліній електропередачі, що може потребувати додаткових витрат на модернізацію або заміну опор, фіксаторів, кріплень та тросів. Підвищене навантаження також вимагає посилення або заміни існуючих конструкцій для забезпечення їхньої надійності та безпеки[40].

В підсумку, перехід на трифазну систему є стратегічно вигідним кроком для підвищення енергоефективності, зниження загальних витрат на

експлуатацію та забезпечення надійності електропостачання в умовах промислового використання.

Приклад розрахунку

Припустимо, що у нас є електродвигун потужністю 50 кВт, який працює в однофазній системі з ККД 90%. Перемикаємось на трифазний двигун з ККД 95%.

Однофазна система:

- Потужність: 50 кВт;
- ККД: 90%;
- Витрати енергії: $\frac{50 \text{ кВт}}{0,9} = 55.56 \text{ кВт} .$ (2.2)

Трифазна система:

- Потужність: 50 кВт;
- ККД: 95%;
- Витрати енергії: $\frac{50 \text{ кВт}}{0,95} = 52.63 \text{ кВт} .$ (2.3)

Зміни в енергоефективності:

- Відсоток зміни: $(0,0526) \times 100 \approx 5,26\% .$ (2.4)

Таким чином, ми бачимо приблизне підвищення енергоефективності на 5.26% при переході з однофазної на трифазну систему для цього конкретного випадку.

Перехід на трифазну систему – це справжній крок до підвищення енергоефективності, і він має кілька ключових переваг. По-перше, трифазні двигуни і трансформатори мають вищий коефіцієнт корисної дії порівняно з однофазними. Це означає, що вони споживають менше енергії для виконання тієї ж роботи, зменшуючи витрати на електроенергію та підвищуючи загальну ефективність системи[41].

Крім того, у трифазних системах струми розподіляються між трьома фазами, що значно зменшує теплові втрати в проводах. Менші втрати означають, що більше енергії досягає кінцевого споживача, а це підвищує енергоефективність і знижує витрати. Це якби ваш кондиціонер або

холодильник працював ефективніше в найспекотніший день літа, заощаджуючи вам гроші та покращуючи комфорт.

Оптимізація використання енергії – це ще одна велика перевага трифазних систем. Вони дозволяють більш ефективно використовувати електроенергію, забезпечуючи стабільне і рівномірне розподілення навантаження. Це значно знижує витрати на електроенергію і покращує загальну продуктивність системи, оскільки вона працює стабільніше і надійніше. Уявіть собі виробництво, де всі машини працюють без жодних збоїв і простоїв – саме це забезпечує трифазна система[42].

Отже, перехід на трифазну систему є важливим кроком до підвищення енергоефективності. Це дозволяє знизити витрати на електроенергію, покращити продуктивність і забезпечити більш надійну роботу обладнання.

Перехід на трифазну систему, хоча й має багато переваг, не є без викликів. Перш за все, висока вартість впровадження може бути значною перешкодою. Початкові витрати на перехід можуть бути значними через необхідність заміни або модернізації обладнання та інфраструктури. Також варто згадати про технічну складність. Впровадження трифазних систем вимагає спеціальних знань і кваліфікації персоналу для проектування, встановлення та обслуговування, що може стати суттєвим бар'єром для багатьох організацій. Оновлення існуючої інфраструктури є ще одним викликом. Іноді існуюча інфраструктура може не підтримувати трифазні системи, що потребує додаткових змін і витрат.

У підсумку, перехід з однофазної системи живлення на трифазну має значні переваги з точки зору підвищення енергоефективності, зниження втрат енергії і зменшення негативного впливу на довкілля. Однак, цей процес вимагає ретельного планування та врахування можливих викликів і обмежень. Загалом, трифазні системи представляють собою перспективний напрямок для покращення енергетичних систем і досягнення більш сталого розвитку.

2.5. Вибір трансформатора з високим ккд для збільшення енергоефективності підстанції

Перехід на трансформатори з високим коефіцієнтом корисної дії (ККД) є критично важливим аспектом у сучасній електротехніці, оскільки ефективність перетворення та передачі електричної енергії безпосередньо впливає на економічність і екологічність енергетичних систем. Трансформатори відіграють ключову роль у зменшенні втрат енергії під час передачі електрики, що є особливо актуальним у контексті зростаючих вимог до енергозбереження і сталого розвитку.

Значення ККД трансформаторів

Коефіцієнт корисної дії трансформатора визначає, яку частину вхідної потужності він може перетворити на вихідну, і вимірюється у відсотках. Чим вищий ККД, тим менше енергії втрачається у вигляді тепла через опір обмоток та магнітні втрати в осерді. Сучасні трансформатори можуть досягати ККД до 98%, що робить їх надзвичайно ефективними для використання в енергетичних системах[44].

У світлі глобальних зусиль щодо зменшення викидів вуглецю та підвищення енергоефективності, вибір трансформаторів з високим ККД стає все більш важливим. Висока ефективність трансформаторів дозволяє не лише знижувати експлуатаційні витрати, але й забезпечує надійність електропостачання, що є критично важливим для промислових і комерційних споживачів.

Трансформатор — це електричний пристрій, який перетворює змінний струм з однієї напруги на іншу за допомогою електромагнітної індукції. Основними компонентами трансформатора є обмотки, магнітне осердя та корпус. Обмотки - це провідники, зазвичай мідні або алюмінієві, які намотані на магнітне осердя. Є дві обмотки: первинна, де входить струм, і вторинна, звідки струм виходить. Магнітне осердя, зазвичай виготовляється зі сталевих пластин або феритних матеріалів, служить для концентрації

магнітного поля та зменшення втрат. Корпус захищає внутрішні компоненти і забезпечує безпеку експлуатації. Трансформатор є невід'ємною частиною електричної інфраструктури, забезпечуючи надійну і ефективну передачу енергії[43].

Принцип роботи

Принцип роботи трансформатора базується на законах електромагнітної індукції. Коли змінний струм проходить через первинну обмотку, він створює змінне магнітне поле, яке індукує електричний струм у вторинній обмотці.

Напруга на вторинній обмотці залежить від співвідношення кількостей витків у первинній та вторинній обмотках:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.5)$$

де U_1 та U_2 — напруги первинної та вторинної обмоток відповідно;

N_1 і N_2 — кількість витків у первинній та вторинній обмотках.

Трансформатори можуть бути підрозділені на два основних типи:

1. Підвищувальні трансформатори: Використовуються для збільшення напруги (більше витків на вторинній обмотці).
2. Понижувальні трансформатори: Використовуються для зменшення напруги (менше витків на вторинній обмотці).

Коефіцієнт корисної дії трансформатора визначається співвідношенням вихідної потужності до вхідної потужності:

$$\text{ККД} = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}} \times 100\% \quad (2.6)$$

де $P_{\text{вих}}$ — вихідна потужність;

$P_{\text{вх}}$ — вхідна потужність.

Основними факторами, які впливають на коефіцієнт корисної дії (ККД) трансформаторів, є матеріали обмоток, магнітне осердя, конструкція обмоток, температура, частота роботи, завантаження та умови експлуатації. Використання високоякісних провідників, таких як мідь замість алюмінію, може значно знизити опір і втрати. Це збільшує ефективність трансформатора і зменшує втрати енергії. Застосування ферромагнітних матеріалів з низькими

втратами, таких як силумін або спеціальні сталеві сплави, може значно підвищити ефективність трансформатора завдяки меншій магнітній гістерезису.

Конструкція обмоток також відіграє важливу роль. Оптимальна геометрія та щільність намотування обмоток можуть зменшити втрати через паразитні індуктивності, що покращує загальну продуктивність трансформатора. Висока температура підвищує опір проводників, що веде до більших втрат енергії. Тому зниження температури експлуатації може підвищити ККД трансформатора.

Частота роботи також має значний вплив на ККД. Зміна частоти може вплинути на величину втрат у магнітному осерді. Зазвичай при збільшенні частоти збільшуються втрати через гістерезис, що знижує ефективність. Завантаження трансформатора є важливим аспектом для його ефективної роботи. Трансформатори працюють найбільш ефективно при певному навантаженні. Перевантаження або недостатнє навантаження можуть призвести до втрат ефективності[45].

Останнім, але не менш важливим фактором є умови експлуатації. Вологість, забрудненість повітря та інші зовнішні фактори можуть також впливати на загальний ККД трансформатора. Забезпечення оптимальних умов для його роботи є важливим аспектом для підвищення ефективності та зменшення втрат енергії.

Враховуючи всі ці фактори дозволяє значно підвищити ефективність роботи трансформатора, зменшити втрати енергії та покращити загальну продуктивність системи електропостачання.

Існує кілька методів для підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) трансформаторів. Використання високоякісних матеріалів відіграє суттєву роль у зменшенні втрат. Зокрема, застосування міді замість алюмінію для обмоток може суттєво знизити втрати Joule, а використання сталевих пластин із низькими магнітними втратами або феритних матеріалів значно покращує ефективність трансформатора[46].

Оптимізація конструкції також є важливим фактором. Правильне проектування обмоток, зокрема оптимізація їх форми і щільності намотування, може покращити магнітний потік. Розташування первинної та вторинної обмоток також має велике значення, оскільки правильне їх розташування може знизити паразитні індуктивності, що, у свою чергу, зменшує втрати енергії.

Використання систем охолодження є ще одним методом підвищення ефективності. Зниження температури роботи трансформатора може суттєво підвищити його ККД. Використання масляного або повітряного охолодження допомагає запобігти перегріву, що знижує опір і втрати енергії.

Регулярне технічне обслуговування також має вирішальне значення для підтримки високої ефективності трансформатора. Чистка від забруднень і контроль за станом ізоляції допомагають запобігти перегріву та коротким замиканням, що зменшує втрати енергії і забезпечує стабільну роботу обладнання.

Нарешті, використання новітніх технологій відкриває нові можливості для підвищення ККД трансформаторів. Наприклад, дослідження наноматеріалів для виготовлення осердь і обмоток можуть значно підвищити ефективність пристроїв. Також інтелектуальні системи управління можуть оптимізувати роботу трансформатора залежно від умов навантаження, що дозволяє максимізувати його продуктивність.

Враховання всіх цих методів дозволяє значно підвищити коефіцієнт корисної дії трансформаторів, зменшити втрати енергії та покращити загальну ефективність системи електропостачання[47].

2.6. Зміна розподільчого трансформатора з Westinghouse Type R до ABB 3W2020-5

Детальний розрахунок зміни трансформатора потребує багатьох змінних, таких як витрати на придбання, встановлення, обслуговування та

експлуатацію нового обладнання.

Таблиця 2.1

Вихідні дані трансформаторів

Параметр	Westinghouse Type R	ABB 3W2020-5
Номінальна потужність	1500-2000 кВА	2000 кВА
Номінальна напруга	10/0.4 кВ	10/0.4 кВ
Тип	Трифазний, масляний	Однофазний, сухий
Охолодження	Масляне (ONAN)	Сухий (повітряне охолодження)
ККД	90-94%	Вищий, близько 97-98%
Вага	4500-6000 кг	Близько 4800 кг

Розрахунок ефективності

1. Втрати енергії:

Для Westinghouse Type R:

- Номінальна потужність: 1500-2000 кВА;
- ККД: 90-94%.

Для ABB 3W2020-5:

- Номінальна потужність: 2000 кВА;
- ККД: 97-98%.

2. Втрати при навантаженні та без навантаження:

Припустимо, для розрахунків ми використаємо середні значення ККД.

Westinghouse Type R:

- Середній ККД: $(90\% + 94\%) / 2 = 92\%$; (2.7)
- Втрати енергії $= (100\% - 92\%) = 8\%$. (2.8)

ABB 3W2020-5:

- Середній ККД: $(97\% + 98\%) / 2 = 97.5\%$; (2.9)
- Втрати енергії $= (100\% - 97.5\%) = 2.5\%$. (2.10)

3. Порівняння втрат енергії:

Westinghouse Type R:

- Втрати при максимальній потужності:

$$(2000 \text{ кВА}) = 2000 \text{ кВА} * 8\% = 160 \text{ кВА} \quad (2.11)$$

ABB 3W2020-5:

- Втрати при потужності: $(2000 \text{ кВА}) = 2000 \text{ кВА} * 2.5\% = 50 \text{ кВА}$ (2.12)

4. Енергозбереження:

- Різниця у втраті енергії = $160 \text{ кВА} - 50 \text{ кВА} = 110 \text{ кВА}$ (2.13)

Отже, при переході з Westinghouse Type R на ABB 3W2020-5, ми очікуємо зменшення втрат енергії на приблизно 110 кВА. Це значно покращить енергоефективність системи та знизить експлуатаційні витрати.

Вибір трансформатора з високим коефіцієнтом корисної дії є ключовим аспектом сучасного енергоспоживання та управління електричними системами. Розуміння основ роботи трансформаторів, факторів, що впливають на їхню ефективність, а також методів підвищення ККД дозволяє здійснювати більш свідомий вибір обладнання для різноманітних застосувань — від промислових установок до побутових приладів.

Висновок до розділу 2

- Збільшення перерізу проводу є важливим заходом для підвищення енергоефективності систем електропостачання. Це дозволяє зменшити опір ліній, знизити втрати енергії на нагрівання та підвищити пропускну здатність. У свою чергу, це покращує якість і надійність електропостачання, сприяючи стабільній роботі обладнання та зменшенню аварійних ситуацій.
- Недоліки зміни перерізу включають підвищення вартості матеріалів та монтажу, необхідність модернізації опор і кріплень, а також можливість виникнення складностей при інтеграції нових елементів у застарілі мережі.

- Реконструкція ліній з використанням проводів із більшим перерізом дозволяє забезпечити перспективу розвитку мережі, підтримуючи зростаюче навантаження без значних модернізацій у майбутньому.
- Перехід із однофазної на трифазну систему значно підвищує енергоефективність, зменшує втрати енергії, покращує стабільність напруги та створює резерв для подальшого розширення мережі.

Таким чином, розглянуті технічні рішення забезпечують зменшення втрат енергії, підвищення надійності роботи системи та зниження експлуатаційних витрат, що є важливим для ефективного управління сучасними системами електропостачання.

РОЗДІЛ 3

СОНЯЧНІ ПАНЕЛІ, ЯК ПОКРІВЕЛЬНИЙ ШАР ДЛЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

Сучасні енергетичні системи стикаються з численними викликами, пов'язаними з підвищенням попиту на електроенергію, зменшенням запасів традиційних джерел енергії та необхідністю зниження впливу на навколишнє середовище. У цьому контексті використання відновлювальних джерел енергії, зокрема сонячної, стає дедалі актуальнішим. Одним із інноваційних рішень є інтеграція сонячних панелей у конструкцію трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ. Це рішення не лише підвищує енергоефективність, але й покращує умови експлуатації обладнання. У цій статті розглянемо переваги, технічні аспекти, економічні вигоди та екологічні наслідки використання сонячних панелей у цьому контексті.

3.1 Перелік переваг інтеграції сонячних панелей

Сонячні панелі мають велику кількість переваг і виконують безліч важливих функцій:

- Сонячні панелі виконують функцію термозахисту для трансформаторів, блокуючи пряме сонячне світло. Це знижує температуру корпусів трансформаторів, що, в свою чергу, зменшує ризик перегріву. Перегрів може призводити до зниження продуктивності та скорочення терміну служби обладнання. Завдяки зниженню температури, трансформатори працюють стабільніше і надійніше, що зменшує витрати на обслуговування та заміну.
- Сонячні панелі не лише захищають обладнання, але й генерують електроенергію. Ця енергія може бути використана для живлення допоміжних систем підстанції, таких як системи охолодження, освітлення та моніторингу. Це дозволяє зменшити навантаження на основну електромережу і знизити витрати на електрику від зовнішніх постачальників. Власна генерація

електроенергії робить підстанцію більш автономною і стійкою до коливань цін на енергоносії.

- Впровадження сонячних панелей має безпосередній вплив на фінансові показники підприємства. Зниження витрат на енергоспоживання особливо помітне в періоди пікових навантажень. У спекотні дні, коли потреба в охолодженні обладнання зростає, використання сонячної енергії допомагає уникнути додаткових витрат на електрику. Це забезпечує додаткове джерело енергії для підстанції та сприяє економії коштів.
- Сонячні панелі є екологічно чистим джерелом енергії. Вони не викидають шкідливих речовин у атмосферу під час роботи, що сприяє зменшенню викидів парникових газів і забруднення повітря. Використання сонячної енергії допомагає підприємствам виконувати екологічні норми та стандарти, покращуючи їхню репутацію серед споживачів і партнерів.
- Установка сонячних панелей може підвищити вартість нерухомості та обладнання. Підприємства, які переходять на відновлювальні джерела енергії, демонструють свою екологічну відповідальність і готовність інвестувати в стійкі технології. Це може позитивно вплинути на їхню репутацію та відносини з партнерами і клієнтами.
- Сонячні панелі мають тривалий термін служби — зазвичай від 20 до 25 років. Багато виробників пропонують гарантії на свої продукти, що забезпечує додаткову впевненість у їхній надійності та ефективності. Це означає, що підприємства можуть розраховувати на стабільну генерацію електроенергії протягом багатьох років без значних додаткових витрат.
- Впровадження сонячних панелей відповідає сучасним тенденціям сталого розвитку та є важливим кроком до створення інноваційної енергетичної інфраструктури. Це допомагає країнам виконувати міжнародні угоди щодо зміни клімату та переходу на відновлювальні джерела енергії.
- Інтеграція сонячних панелей дозволяє вибирати між різними типами систем: мережевими, автономними або гібридними. Це забезпечує можливість

адаптації до конкретних умов експлуатації підстанції та потреб у енергії.

- Компанії, які впроваджують технології відновлювальної енергетики, підвищують свою конкурентоспроможність на ринку завдяки зменшенню витрат і покращенню іміджу. В умовах сучасного ринку споживачі все більше звертають увагу на екологічну відповідальність компаній[48].

Загалом, сонячні панелі є незамінним елементом для підвищення ефективності та стійкості енергосистеми. Вони не тільки генерують електроенергію, але й виконують функцію захисту обладнання від перегріву, що сприяє підвищенню надійності та безпеки електропостачання. Цей підхід дозволяє підприємствам не лише економити на енерговитратах, але й створювати більш стійкі та екологічно відповідальні системи.

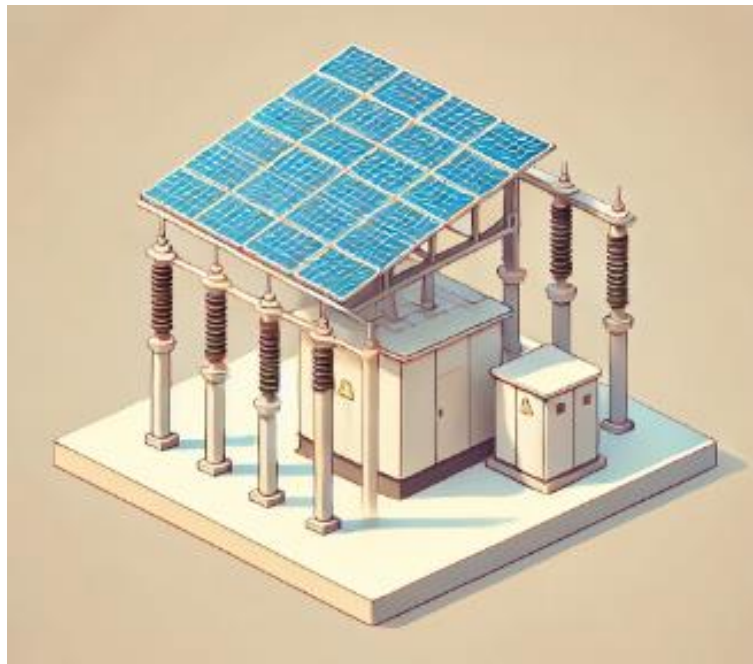


Рис. 3.1. Сонячна панель над ТП 10/0,4 кВ

Для успішного впровадження сонячних панелей у трансформаторні підстанції важливо врахувати кілька технічних аспектів. Вибір між мережевими, автономними або гібридними системами залежить від конкретних умов експлуатації підстанції та потреб у енергії. Мережеві системи підключені до загальної електромережі і можуть продавати надлишкову електроенергію, що генерується сонячними панелями, назад в

мережу. Це дозволяє підприємствам отримувати додатковий дохід і зменшувати витрати на електрику. Автономні системи використовуються в місцях без доступу до електромережі, забезпечуючи повну автономію завдяки акумуляторам, які зберігають енергію для використання вночі або під час пікових навантажень. Гібридні системи поєднують переваги обох типів, що робить їх дуже гнучкими і здатними адаптуватися до змінних умов експлуатації.

Правильне проектування та монтаж системи є критично важливими для забезпечення її ефективності та безпеки. Необхідно провести детальний аналіз навантаження на конструкцію даху підстанції, щоб визначити можливість встановлення сонячних панелей. Це включає оцінку матеріалів даху, його стану та здатності витримувати додаткову вагу. Забезпечення належної вентиляції є важливим аспектом для підтримки ефективності панелей та запобігання їхньому перегріву. Перегрів може суттєво знизити продуктивність сонячних панелей, тому важливо проектувати систему так, щоб повітря могло вільно циркулювати навколо панелей[49].

Регулярне обслуговування сонячних панелей є необхідним для підтримання їхньої ефективності протягом усього терміну служби. Це включає чистку панелей від забруднень, таких як пил, бруд або листя, які можуть блокувати сонячне світло і знижувати продуктивність. Також важливо регулярно перевіряти електричні з'єднання для запобігання коротким замиканням або іншим проблемам, які можуть призвести до втрат енергії або навіть пожеж. Моніторинг стану компонентів системи, таких як інвертори та акумулятори, також є важливим аспектом обслуговування. Інвертори перетворюють постійний струм на змінний струм і повинні працювати безперебійно для забезпечення стабільної роботи системи.

Використання сонячної енергії має позитивний вплив на навколишнє середовище. Зниження споживання традиційних джерел енергії веде до зменшення викидів парникових газів і забруднення повітря. Сонячна енергія є чистим джерелом енергії без шкідливих викидів у атмосферу, що сприяє

екологічній чистоті та сталому розвитку регіону та країни в цілому.

Впровадження сонячних панелей потребує значних початкових інвестицій. Вартість обладнання та монтажу може бути високою, але ці витрати часто компенсуються за рахунок економії на рахунках за електроенергію в майбутньому. Багато країн пропонують субсидії або податкові пільги для стимулювання інвестицій у відновлювальну енергетику. Важливо враховувати, що сонячні панелі мають довготривалий термін служби, і початкові витрати можуть окупитися протягом декількох років за рахунок економії на електроенергії.

Використання власно виробленої енергії знижує залежність від зовнішніх постачальників електроенергії та зменшує витрати на енергоспоживання, сприяючи економічній стабільності підприємства та зменшуючи вплив коливань цін на традиційні енергоресурси. Окрім того, установка сонячних панелей може підвищити вартість нерухомості та обладнання. Переходячи на відновлювальні джерела енергії, підприємства демонструють свою екологічну відповідальність, що може позитивно вплинути на їхню репутацію і відносини з партнерами та клієнтами[50].

Загалом, впровадження сонячних панелей має багато економічних переваг, які можуть значно покращити фінансові показники підприємства та сприяти його сталому розвитку. Встановлення сонячних панелей стало популярним рішенням для зниження витрат на електроенергію та переходу на відновлювальні джерела енергії. Однак перед інвестуванням у цю технологію важливо розуміти, як швидко ці інвестиції можуть окупитися.

3.2. Розрахунок окупності сонячних панелей

Розрахунок окупності сонячної панелі з потужністю 30 кВт включає кілька ключових факторів: вартість встановлення, обсяг зекономленої енергії,

середню продуктивність системи, вартість електроенергії та можливі додаткові витрати. Давайте розглянемо основні етапи цього розрахунку.

Вартість встановлення в гривнях для України середня вартість встановлення такої системи:

- Обладнання та матеріали: близько 400 000–500 000 грн.
- Монтаж та підключення: приблизно 80 000–120 000 грн.

Загальна сума початкових інвестицій становить 480 000–620 000 грн.

Продуктивність сонячної станції Станція потужністю 30 кВт у середньому генерує 35 000–40 000 кВт·год на рік. Наприклад:

- У південних регіонах, де більше сонячних днів, це буде близько 40 000 кВт·год на рік.
- У регіонах із меншою сонячною активністю – близько 35 000 кВт·год на рік.

Економія на електроенергії Середня вартість електроенергії в Україні для приватного сектора становить близько 2,5 грн за 1 кВт·год. Таким чином, річна економія буде:

- При генерації 40 000 кВт·год:

$$40\,000 \text{ кВт}\cdot\text{год} \times 2,5 \text{ грн} = 100\,000 \text{ грн на рік.} \quad (3.1)$$

- При генерації 35 000 кВт·год:

$$35\,000 \text{ кВт}\cdot\text{год} \times 2,5 \text{ грн} = 87\,500 \text{ грн на рік.} \quad (3.2)$$

Окупність інвестицій Окупність розраховується на основі загальних витрат і щорічної економії:

- При інвестиціях у 480 000 грн і економії 100 000 грн на рік окупність становитиме:

$$480000 \text{ грн}/100000 \text{ грн}=4,8 \text{ років} \quad (3.3)$$

- При інвестиціях у 620 000 грн і економії 87 500 грн на рік окупність складе:

$$620000 \text{ грн}/87500 \text{ грн}\approx 7,1 \text{ років} \quad (3.4)$$

Додаткові фактори

- Державна підтримка: програми підтримки можуть зменшити окупність.
- Деградація панелей: продуктивність зменшується на 0,5–1% щороку, тому цей фактор можна враховувати у довгострокових розрахунках[1].

Для установки сонячної системи на 30 кВт при вартості електроенергії 2,5 грн за кВт·год термін окупності становить від 4,8 до 7 років. Після цього панелі працюватимуть практично безкоштовно, забезпечуючи електроенергію наступні 20–25 років.

Інтеграція сонячних панелей у конструкцію трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ є ефективним рішенням для підвищення енергоефективності та забезпечення безпеки праці. Цей підхід не лише сприяє зменшенню витрат на електроенергію і поліпшенню умов експлуатації обладнання, але й позитивно впливає на екологічну ситуацію. Використання сонячної енергії стає важливим кроком у модернізації енергетичних систем і відповідає сучасним вимогам сталого розвитку. Інвестуючи в технології відновлювальної енергетики, підприємства можуть не лише підвищити свою конкурентоспроможність, але й зробити свій внесок у захист навколишнього середовища та покращення якості життя людей.

Таким чином, використання сонячних панелей над трансформаторними підстанціями — це не лише технологічний прогрес, а й відповідь на виклики сучасності, які стоять перед глобальною спільнотою у сфері енергетики та екології[2].

Таблиця 3.1.

Результат змін з енергоефективності

Показники енергоефективності	До змін	Після змін
Опір проводу (%)	100	36.8
Макс. струм (А),	150	250
Максимальна потужність (кВт)	140	200
Витрати енергії (кВт)	55.56	52.63
ККД (%)	93	98
Втрати енергії (кВА)	160	50
Температура обладнання	40	32
Річна економія електроенергії (кВт·год)	0	35 000

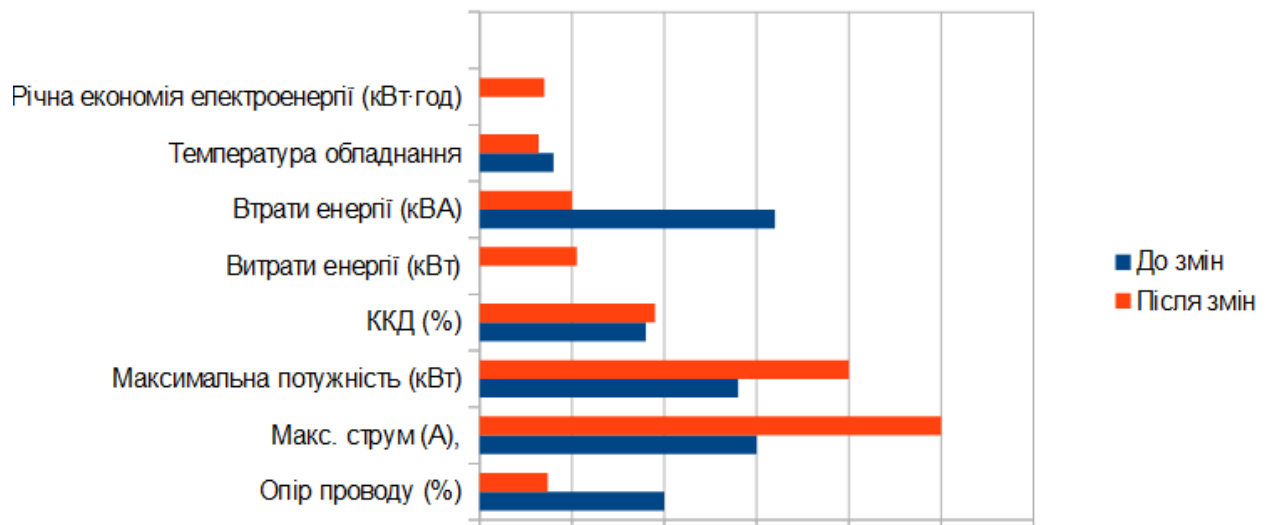


Рис. 3.2 Діаграма змін з енергоефективності

Висновок до розділу 3

Впровадження сонячних панелей як покрівельного шару для трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ є інноваційним і багатоаспектним рішенням, яке забезпечує не лише підвищення енергоефективності, але й значно покращує експлуатаційні характеристики енергетичних систем. Аналіз

показав, що використання сонячних панелей дозволяє:

- Зменшити нагрівання обладнання, що сприяє стабільній роботі та подовженню терміну служби трансформаторів.
- Забезпечити автономне живлення допоміжних систем підстанції, знижуючи залежність від зовнішніх джерел енергії.
- Зменшити експлуатаційні витрати за рахунок генерації власної електроенергії та скорочення витрат на охолодження обладнання.
- Підвищити екологічну ефективність, зменшивши викиди CO₂ та забруднення повітря.
- Забезпечити економічну вигоду завдяки швидкій окупності інвестицій та довготривалому терміну експлуатації системи.

Впровадження цієї технології відповідає сучасним тенденціям сталого розвитку та є вагомим кроком до створення інноваційної енергетичної інфраструктури. У світі, де питання енергетичної незалежності та екологічної безпеки стають дедалі актуальнішими, використання відновлювальних джерел енергії є не лише бажаним, а й необхідним.

Таким чином, впровадження сонячних панелей як покрівельного шару для трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ є багатогранним рішенням, яке не лише підвищує енергоефективність і знижує експлуатаційні витрати, але й сприяє екологічній стійкості. Це інноваційний крок у розвитку сучасної енергетичної інфраструктури, який відповідає вимогам часу та потребам суспільства.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ В РОБОТІ З ТРАНСФОРМАТОРНОЮ ПІДСТАНЦІЄЮ ТА МЕРЕЖЕЮ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Забезпечення безпеки праці під час підвищення енергоефективності систем електропостачання, зокрема для трансформаторних підстанцій на 10/0,4 кВ, є надзвичайно важливим процесом. Особливо це актуально для підприємств, які прагнуть зменшити енергоспоживання та збільшити надійність своїх мереж. Ось докладніша інформація про ключові аспекти безпеки праці у таких умовах.

1. Важливо забезпечити належний стан ізоляції усіх елементів системи електропостачання. Ізоляційні матеріали мають бути якісними, щоб захищати від витоків струму. Регулярна перевірка ізоляції дозволяє вчасно виявити можливі пошкодження, знизивши ризик ураження струмом.

Заземлення також має вирішальне значення. Система заземлення призначена для запобігання накопиченню надлишкового електричного заряду на обладнанні, що може становити небезпеку для працівників.

Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)[2].

Для роботи з обладнанням під напругою необхідно використовувати засоби індивідуального захисту:

- Діелектричні рукавички для захисту рук;
- Діелектричні взуття для захисту ніг;
- Захисні окуляри для захисту очей;
- Ізоляційні інструменти, які знижують ризик контакту з небезпечними елементами.

Інструктаж та дотримання процедур безпеки

Вступний інструктаж: Усі новоприйняті працівники повинні пройти вступний інструктаж з охорони праці, який включає основні правила безпеки, специфічні для їхньої роботи.

Регулярне навчання: Працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпекою, повинні проходити спеціальне навчання не рідше одного разу на рік. Це навчання має включати теми надання першої медичної допомоги та поведінки в аварійних ситуаціях.

Перевірка знань: Після навчання проводиться перевірка знань з питань охорони праці. Працівники, які не пройшли навчання або не склали іспит, не допускаються до роботи.

2. Трансформаторні підстанції можуть становити небезпеку пожежі через великий обсяг електричного обладнання. Для запобігання загорянню важливо:

- Своєчасно обслуговувати системи охолодження трансформаторів, щоб уникнути перегріву;
- Переконатися, що у приміщеннях є достатня кількість вогнегасників, які перебувають у справному стані;
- Виконати розрахунок пожежної безпеки для встановлення максимально допустимого навантаження на обладнання.

Регулярні навчання з пожежної безпеки для працівників забезпечують оперативну і правильну реакцію у разі виникнення пожежі.

3. Система вентиляції у приміщеннях трансформаторних підстанцій повинна бути справною та налаштованою на підтримку оптимального мікроклімату. Погане охолодження може призвести до перегріву, що загрожує як обладнанню, так і безпеці працівників.

Для підвищення енергоефективності варто розглянути використання систем автоматичного контролю температури та вологості. Наприклад, інтелектуальні системи моніторингу можуть автоматично регулювати температуру у трансформаторному приміщенні для запобігання перегріву.

4. Робота трансформаторів супроводжується утворенням електромагнітного поля, що може впливати на здоров'я працівників. Щоб мінімізувати вплив електромагнітного випромінювання, слід дотримуватись таких заходів:

- Скорочення часу перебування у зонах із підвищеним рівнем випромінювання;
- Встановлення екранів або захисних конструкцій для ізоляції цих зон;
- Регулярний моніторинг рівня електромагнітного випромінювання для контролю дотримання допустимих значень.

5. Проведення регулярної оцінки ризиків є одним із основних кроків до забезпечення безпеки праці. Оцінка повинна включати всі можливі небезпеки: від механічних ризиків до електричних. Після оцінки розробляються плани мінімізації ризиків, а також розробляються чіткі інструкції щодо виконання завдань[3].

Навчання персоналу має проводитись на регулярній основі. Це включає:

- Обов'язкові тренінги та сертифікацію;
- Ознайомлення з новими стандартами безпеки, якщо такі приймаються;
- Проведення навчальних симуляцій аварійних ситуацій, щоб забезпечити швидку та правильну реакцію у разі надзвичайних обставин.

6. Ведення обліку всіх виконаних робіт, інструктажів, перевірок обладнання та виниклих інцидентів дозволяє ефективніше аналізувати ситуацію. Це допомагає виявити слабкі місця в організації роботи та запобігти подібним інцидентам у майбутньому.

Аналіз аварійних ситуацій дає змогу виявити причини інцидентів і внести корективи у внутрішні інструкції чи змінити процедури безпеки.

7. Впровадження інтелектуальних систем моніторингу та управління може значно підвищити енергоефективність і безпеку на трансформаторних підстанціях:

- Системи моніторингу можуть відстежувати стан обладнання в режимі реального часу та автоматично повідомляти про будь-які відхилення від нормальних параметрів роботи;
- Використання енергоефективних трансформаторів та кабельних ліній знижує витрати електроенергії і втрати в мережі;

- Інноваційні рішення, як-от розумні лічильники та системи дистанційного контролю, дозволяють зменшити обсяги робіт під напругою, знижуючи ризик для працівників.

Охорона праці при підвищенні енергоефективності систем електропостачання є важливим аспектом, який потребує комплексного підходу. Забезпечення належного рівня навчання персоналу, дотримання стандартів безпеки, регулярне технічне обслуговування обладнання та впровадження сучасних технологій моніторингу — все це сприяє не лише збереженню життя і здоров'я працівників, але й досягненню значної економії енергоресурсів. Таким чином, інтеграція принципів безпеки праці в процес підвищення енергоефективності є ключовою умовою успішної модернізації системи електропостачання та забезпечення її надійності і стабільності[5].

Висновок до розділу 4

Забезпечення безпеки праці під час роботи з трансформаторними підстанціями та мережами ліній передачі електроенергії є невід'ємною складовою підвищення енергоефективності систем електропостачання. Дотримання стандартів охорони праці, регулярна оцінка ризиків, використання сучасних засобів індивідуального захисту та впровадження інноваційних систем моніторингу сприяють зниженню рівня аварійності та покращенню умов праці.

Таким чином, інтеграція заходів з охорони праці у процес модернізації систем електропостачання забезпечує не лише підвищення енергоефективності, але й збереження життя та здоров'я працівників, що є ключовим пріоритетом будь-якого підприємства.

ВИСНОВКИ

У процесі роботи над магістерською кваліфікаційною роботою проведено всебічний аналіз заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності систем електропостачання з трансформаторними підстанціями 10/0,4 кВ. Основними результатами є такі:

- Проведено аналіз основних втрат енергії в трансформаторних підстанціях і запропоновано заходи для їх мінімізації. Встановлено, що модернізація обладнання та впровадження сучасних технологій здатні значно знизити витрати енергії та підвищити надійність системи.
- Досліджено вплив зміни перерізу проводів на втрати енергії. Показано, що збільшення перерізу проводів зменшує опір, теплові втрати та стабілізує напругу, що покращує загальну ефективність роботи системи електропостачання.
- Розглянуто доцільність переходу з однофазної на трифазну систему живлення. Виявлено, що трифазна система забезпечує рівномірний розподіл навантаження, знижує втрати енергії та покращує продуктивність і стабільність роботи електричних мереж.
- Обґрунтовано вибір трансформаторів із високим коефіцієнтом корисної дії. Запропоновано застосування сучасних моделей трансформаторів, що дозволяють суттєво скоротити втрати енергії та підвищити екологічність енергетичних систем.
- Розглянуто можливість використання сонячних панелей як покрівельного шару для трансформаторних підстанцій. Це сприяє зниженню витрат на енергопостачання та збільшенню частки відновлюваних джерел енергії в загальному балансі.
- Розроблено комплекс заходів із охорони праці для роботи з трансформаторними підстанціями та мережами ліній електропередачі. Запропоновано використання сучасних засобів індивідуального захисту, систем пожежної сигналізації та навчальних програм для персоналу з метою

забезпечення безпеки та зменшення ризиків травматизму.

Усі розглянуті аспекти — перехід на трифазні системи, вибір високоефективних трансформаторів, інтеграція сонячних панелей та забезпечення безпеки праці — сприяють підвищенню енергоефективності та сталого розвитку енергетичних систем. Ці заходи не лише допомагають знизити витрати на електроенергію, але й позитивно впливають на екологічну ситуацію та безпеку працівників у галузі електропостачання. Інтеграція принципів енергоефективності, безпеки праці та використання відновлювальних джерел енергії в сучасних електричних системах є ключовими умовами для досягнення надійності, економічності і екологічної чистоти енергетичних рішень у майбутньому. Це дозволяє підприємствам не лише покращити свою конкурентоспроможність, але й зробити свій внесок у захист навколишнього середовища і покращення якості життя людей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Pavlenko V. M., Reshetnyak Y. V. Шляхи підвищення енергоефективності трансформаторних підстанцій. "матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції. *Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування*". Київ. 2024. С. 255.
2. Pavlenko V. M., Tkachenko M. V. Підвищення енергоефективності та надійності електропостачання університету через реконструкцію трансформаторної підстанції. "матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції. *Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування*". Київ. 2024. С. 19.
3. Pavlenko V. M., Yovenko O. V. Система моніторингу та регулювання енергоспоживанням побутових домогосподарств. "матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції *Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування*". Київ. 2024. С. 253.
4. Решетняк Я. В., Павленко В. М. Підвищення енергоефективності трансформаторних підстанцій у системах електропостачання. «матеріали Міжнародної науково-практичної конференції *Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК*», 15, 24–28 с.
5. Ткаченко М. В., Павленко В. М. Реконструкція трансформаторної підстанції для освітніх і наукових установ шляхом впровадження енергоефективних технологій. «матеріали Міжнародної науково-практичної конференції *Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК*», 15, 29–33 с.
6. Гаряжа В. М., Карюк А. О. Електрична частина станцій та підстанцій // Доступно за посиланням: <https://core.ac.uk/download/pdf/154806434> (дата звернення: 26.10.2024).
7. Мартинюк Л. В., Петренко А. В., Омельчук А. О. Управління режимами роботи електричних мереж. Київ: ЦП "Компринт", 2021.
8. Kozyrskiy V., Petrenko A., Trehub M., Charyev Y. Renewable Energy and Power Supply Challenges for Rural Regions. 2019. Pages: 197–228. DOI:

10.4018/978-1-5225-9179-5.ch009.

9. Dovgalyuk O., Shcherbak I., Kovalova Y., Korobka V. Allocation of steady-state areas of total electrical load schedules of 10/0.4 kV transformer substations located in residential areas. Repository KPI, 2021. Доступно за посиланням: kpi.kharkov.ua (дата звернення: 09.11.2024).
10. Попов В. Є., Коваленко М. П. Енергоефективність та економічні аспекти модернізації електромереж // Журнал "Енергетика і електрифікація". 2019.
11. Muzafarov S., Turdaliev R., Batirova L. Improving reliability of power supply and the quality of electrical energy in rural settlements. AIP Conference Proceedings, 2022. Доступно за посиланням: pubs.aip.org (дата звернення: 10.11.2024).
12. Kozyrskiy V., Petrenko A., Trehub M., Charyev Y. Renewable Energy and Power Supply Challenges for Rural Regions. 2019. Pages: 197–228. DOI: 10.4018/978-1-5225-9179-5.ch009.
13. Каплун В. В., Дончик Є. М., Макаревич С. С. Математична модель визначення умовного динамічного тарифу мікроенергетичної системи з відновлюваними джерелами // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. 2018. № 5 (126). 9–20 с. Доступно за посиланням: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/12162>.
14. Каплун В. В., Штепа В. М., Макаревич С. С. Нейромережева модель прогнозування генерації електроенергії відновлюваними джерелами у системі енергоменеджменту локальних об'єктів // Журнал КПІ ім. Ігоря Сікорського «Енергетика, економіка, технології, екологія». 2019. № 2. 27–39 с. Доступно за посиланням: <http://energy.kpi.ua/article/view/190002>.
15. Каплун В.В., Макаревич С.С., Кулибаба Є., Самчук В.О., «ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ДИНАМІЧНОГО ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ МІКРОГРІД З ПОЛІГЕНЕРАЦІЄЮ»: С.158.
16. Окушко О., Антипов Є., Міщенко А. Проблеми енергозбереження у житлово-комунальному господарстві України. Scientific Papers. 2022. URL: <https://previous.scientia.report> (дата звернення: 19.11.2024).

17. Мартинюк Л. В., Петренко А. В., Омельчук А. О. Управління режимами роботи електричних мереж. Київ: ЦП "Компринт", 2021.
18. Лендел Т. І., Скрипник А. М., Гай О. В., Мартинюк Л. В. Управління споживанням та генерацією енергії в сільських регіонах на базі технологій SMART GRID: монографія. Київ: ЦП "Компринт", 2016.
19. Мартинюк Л. В., Петренко А. В., Омельчук А. О. Управління режимами роботи електричних мереж. Київ: ЦП "Компринт", 2021.
20. Myat Y.H., Shvedov G.V. Rational Capacity of 10/0.4 kV Distribution Transformers (on the Example of the Republic of the Union of Myanmar). *Journal of Radio Electronics, Electrical and Power Systems*. 2024. Доступно за посиланням: ieeexplore.ieee.org (дата звернення: 08.11.2024).
21. Ликтей В. В., Сорокін Д. С., Жильцов А. В. Математичне моделювання енергетичних систем та їх елементів. Ч. 1. Чисельні методи. Київ: ЦП "Компринт", 2019
22. Belov S.I., Tsedyakov A.A. Assessment of the technical condition of the 10 kV rural electrical network using MATLAB software. *SPIE Digital Library*, 2022. Доступно за посиланням: spiedigitallibrary.org (дата звернення: 07.11.2024).
23. Косткіна І. С. Підвищення надійності системи електропостачання житлового комплексу з використанням альтернативних джерел енергії. *elartu.tntu.edu.ua*, 2022. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua> (дата звернення: 16.11.2024).
24. Капустін П. Г. Підвищення енергоефективності роботи трансформаторної підстанції ПАТ «Запоріжтрансформатор». *dspace.znu.edu.ua*, 2020. URL: <https://dspace.znu.edu.ua> (дата звернення: 16.11.2024)
25. Кашпор І. І. Підвищення енергоефективності трансформаторної підстанції ПАТ «ДТЕК Дніпрообленерго». *dspace.znu.edu.ua*, 2020. URL: <https://dspace.znu.edu.ua> (дата звернення: 16.11.2024).
26. Барбанов С. С. Розроблення заходів з підвищення рівня ефективності енергоспоживання у мережах високовольтної трансформаторної підстанції.

- dspace.kntu.kr.ua, 2022. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua> (дата звернення: 17.11.2024).
27. Степанчук В. О. Підвищення експлуатаційної надійності роботи силових трансформаторів 10/0,4 кВ шляхом компенсації реактивної потужності. Поліський національний університет, 2021.
28. Шандрук Ю. С. Енергоефективна система електропостачання малого фермерського господарства. elartu.tntu.edu.ua, 2021. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua> (дата звернення: 20.11.2024).
29. Задорожний С. О. Оцінка відхилень напруги в мережах 0,4 кВ. elartu.tntu.edu.ua, 2023. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua> (дата звернення: 19.11.2024).
30. Оксюковський Т. В. Реконструкція системи електропостачання свинокомплексу з підвищенням коефіцієнта потужності електричної мережі. Поліський національний університет, 2024.
31. Яровой Б. Є. Реконструкція трансформаторної підстанції напругою 110/10 кВ. ela.kpi.ua, 2024. URL: <https://ela.kpi.ua> (дата звернення: 12.11.2024).
32. Ухань Є. В. Підвищення точності обліку споживання електричної енергії. dspace.znu.edu.ua, 2024. URL: <https://dspace.znu.edu.ua> (дата звернення: 11.11.2024).
33. Кузьминський В. Р. Підвищення ефективності системи електропостачання підприємства за рахунок зміни ступеня напруги. ela.kpi.ua, 2021. URL: <https://ela.kpi.ua> (дата звернення: 13.11.2024).
34. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Сікорська О. В. Розосереджене генерування в задачах підвищення енергоефективності розподільних електричних мереж. – Вінниця: ВНТУ, 2023. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua>.
35. Гнатюк І. М., Іванов О. С. Інноваційні рішення в енергетиці. Енергетика і автоматика. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya>.
36. Anderson R. Efficiency and Sustainability in Electrical Grids. – Oxford: Oxford University Press, 2020.
37. Brown M. Grid Modernization for Energy Efficiency. – London: Palgrave

Macmillan, 2019.

38. Кузьмін В. В., Петрова Л. М. Оцінка впливу реконструкції на стабільність мереж. Харків: ХДЕУ, 2020.
39. Смирнов А. І., Поляков О. Л. Автоматизація обліку енергії. Київ: ІЕП, 2020.
40. Miller K. Renewable Energy Systems and Their Integration. Cambridge: Academic Press, 2021.
41. Володько І. В. Основи проектування енергоефективних мереж. Дніпро: УДНТУ, 2019.
42. Ivanov K., Brown M. Advanced Solutions for Power Loss Reduction. Tokyo: Wiley, 2019.
43. Кузнецов Г. С. Автоматизація систем енергоменеджменту. Одеса: ОНУ, 2021.
44. Попов В.Є., Коваленко М.П. Енергоефективність та економічні аспекти модернізації електромереж. Журнал "Енергетика і електрифікація", 2019.
45. Brostilova T.Y., Ageev V.A., Golobokov S.V. The efficiency of electric power supply with the transmission of peak loads to distributed generation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021. Доступно за посиланням: iopscience.iop.org (дата звернення: 06.11.2024).
46. V. Kozyrskyi, A. Petrenko, M. Trehub, Y. Charyev, "Renewable Energy and Power Supply Challenges for Rural Regions", ch009, Pages: 197- 228, 2019. DOI:10.4018/978-1-5225-9179-5.ch009.
47. Miroshnyk O., Szafraniec A. Investigation of power saving modes in 10/0.4 kV distribution networks. Przegląd Elektrotechniczny, 2020. Доступно за посиланням: pe.org.pl (дата звернення: 05.11.2024)..
48. Мартинюк Л.В., Петренко А.В., Омельчук А.О. Управління режимами роботи електричних мереж. 2021. Київ: ЦП" Компринт"
49. Kozyrskyi V., Petrenko A., Trehub M., Charyev Y., "Renewable Energy and Power Supply Challenges for Rural Regions", ch009, Pages: 197-228, 2019. DOI:10.4018/978-1-5225-9179-5.ch009.

50. Каплун В. В., Ткаченко Л. Г. Розвиток мікромереж на основі ВДЕ. Львів: НАН України, 2021.
51. Пасічник О.Е., Шматов С.А. Розробка та впровадження автоматизованих систем управління електричними мережами. Київ. НТУУ "КПІ", 2016.