

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ЦЕНТР ПЕРЕПІДГОТОВКИ ТА ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

**ПЕТРЕНКО ЛЮБОМИР ВАСИЛЬОВИЧ**

УДК 621.316.1

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ  
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 110/10 КВ**

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль  
2019

Роботу виконано на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя міністерства освіти і науки України.

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв  
**Савків Володимир Богданович**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Рецензент:** кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно–інтегрованих технологій  
**Левицький Віталій Васильович**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 21 грудня 2019 року о 9<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії №39 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46018, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, навчальний корпус №7, ауд. 310.

## ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ

**Актуальність теми.** Ефективність і надійність сучасних електротехнічних комплексів, систем електропостачання в умовах зростання електричних навантажень і їх щільності безпосередньо залежить від схемних рішень побудови розподільних електричних мереж. Концепція «розумної енергетики» в більшості наукових робіт відбивається в розробці нових технологій: систем контролю і управління, пристроїв електромагнітного перетворення, виконавчих пристроїв, швидкодіючих цифрових пристроїв захисту. В основному дані інновації знаходять застосування на об'єктах високої і надвисокої напруги. Питанням поліпшення параметрів і керованості розподільних мереж середньої напруги приділяється мало уваги.

Розвиток мереж середньої напруги 20 кВ не завжди має системний характер і часто вони будуються «як доведеться», що веде за собою збільшення втрат потужності, труднощі експлуатації.

Нині інновації нерозривно пов'язані з мікропроцесорною технікою, цифровими технологіями і системами комунікації. Енергетика не виняток. Створення ефективних і адаптивних алгоритмів функціонування електричних мереж, за якими буде працювати дана техніка, є найбільш важливим завданням, з яким можуть впоратися тільки електроенергетики.

Проблема збільшення щільності електричних навантажень піднімає питання підвищення рівня напруги і, як наслідок, пропускної здатності електромережевого устаткування. Кабельна інфраструктура мереж 6-10 кВ вже працює на межі пропускної здатності. У ряді Обленерго країни вже реалізовані проекти електропостачання нових мікрорайонів, районів чи забудов на основі перспективного класу напруги 20 кВ. Однак, науково обґрунтованих рішень щодо впровадження цього все ще рідко використовуваного класу напруги, а особливо, його режиму заземлення нейтралі дуже мало.

На нинішній час більшість діючих систем електропостачання є ієрархічними і не здатними до швидкого реагування на зовнішні збурення. Їх можна охарактеризувати як квазістатичні. Тенденції і нові технічні рішення в галузі багатофункціональних цифрових систем, введення стандарту МЕК 61850 «Мережі і системи зв'язку на підстанціях», розвиток комунікаційної інфраструктури електроенергетичних систем дають можливість замислитись над створенням «динамічних», здатних адаптуватися до режимів і збурень енергосистем.

На даний час одним з перспективних рішень цієї проблеми з економічної точки зору може бути комплексний підхід до реконфігурації електромереж середнього класу напруги 6(10) кВ з підвищенням номінальної напруги до 20 кВ, створення центрів живлення та прокладання ліній передавання цієї напруги із запровадженням якісно нового рівня автоматизації мережі.

Для впровадження електромереж з напругою 20 кВ вже зараз є наявне компактне обладнання вітчизняних й закордонних виробників, зокрема, щоглові підстанції зі спрощеною конструкцією трансформатора без розширювального бачка та перемикача без збудження. Використання щоглових комплектних трансформаторних підстанцій дає можливість максимально

наблизити їх установку до споживачів зі збереженням охоронної зони 10 кВ.

Найбільш ефективним критерієм для техніко-економічне порівняння стратегій розвитку електромереж на номінальних напругах 10 або 20 кВ є дослідження мінімуму сумарних дисконтованих витрат. З розрахунку випливає, що кращими техніко-економічними показниками (майже 10% дисконтованих витрат) характеризується варіант реконструкції розподільної електромережі з переведенням живлення на номінальну напругу 20 кВ.

Таким чином, можна зробити висновок, що реконструкція розподільних електромереж, починаючи з трансформаторних підстанцій, переведенням їх на напругу 20 кВ з метою зменшення втрат електроенергії та підвищення їх енергоефективності, представляє собою актуальну задачу.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дипломної роботи є модернізація схемо–технічного рішення та комплексу обладнання понижувальної трансформаторної підстанції 35/10 кВ як частини електромережі 110 кВ, а також розробка заходів з підвищення енергоефективності системи електропостачання цієї підстанції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- аналіз сучасних технічних рішень підвищення ефективності і надійності систем електропостачання шляхом заміни комутаційного, вимірювального обладнання, пристроїв релейного захисту новітніми з використанням мікропроцесорних технологій;

- аналіз характеристик сучасного високовольтного комутаційного обладнання трансформаторної підстанції (вимикачі, роз'єднувачі) для заміни морально застарілого й з фізичним зносом;

- порівняльний аналіз характеристик розподільних електромереж 10 (6) кВ та 20 кВ для дослідження їх техніко–економічних показників;

- розрахунок струмів короткого замикання на шинах підстанції для вибору комутаційного обладнання;

- реконструкція функціональних елементів трансформаторної підстанції.

**Об'єкт дослідження** - процес підвищення енергоефективності трансформаторної підстанції 35 кВ шляхом модернізації схемо–технічного рішення й високовольтного комутуючого обладнання.

**Предмет дослідження** - характеристики новітнього комутуючого обладнання для модернізації підстанції 35/10 кВ.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

- Отримало подальший розвиток застосування методів забезпечення ефективності роботи трансформаторних підстанцій шляхом їх реконструкції із застосуванням новітнього комутуючого обладнання й мікропроцесорних пристроїв релейного захисту.

- Запропонована для подальшого дослідження модель зменшення втрат потужності, втрат напруги та отримання економічного ефекту в електромережах 110/10 кВ при їх реконструкції на напругу 110/20 кВ.

**Практичне значення отриманих результатів.** Впровадження результатів досліджень методів реконструкції трансформаторних підстанцій дозволить підвищити ефективність функціонування електромережі.

**Апробація.** Результати досліджень за темою дипломної роботи були представлені на IV-й Міжнародній науково-технічній конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій» на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 8-и розділів, висновків, переліку посилань (39 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 125 стор., 7 табл., 32 рис.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** подано загальну характеристику роботи та визначені задачі дослідження.

У **першому розділі «Аналітична частина»** проведено стислий аналіз району електропостачання та стану комутаційного обладнання трансформаторної підстанції 35/10 кВ. Проаналізовані характеристики комутуючого обладнання, а також задачі їх заміни на більш сучасні. Проведено аналіз навантажувальних характеристик в номінальному, максимальному і мінімальному режимах роботи підстанції. Розглянуті характеристики мікропроцесорного пристрою для захисту трансформаторів підстанції.

У **другому розділі «Науково-дослідна частина»** обґрунтована необхідність переведення електричних мереж з трирівневої системи напруг 110/35/10 кВ на дворівневу систему напруг 110/20 кВ. Проведені дослідження моделі зменшення втрат потужності і напруги в електромережі 20 кВ. Проаналізовано техніко-економічне обґрунтування ефективності переведення електромереж на напругу 20 кВ.

У **третьому розділі «Технологічна частина»** здійснено вибір силових трансформаторів модернізованої підстанції. Проведений розрахунок навантажень на шини 10 кВ. Розглянуті можливі варіанти модернізації первинної електричної схеми підстанції 35/10 кВ.

У **четвертому розділі «Проектно-конструкторська частина»** розраховані максимальні струми кіл навантаження трансформаторної підстанції. Проведений вибір модернізованого електрообладнання трансформаторної підстанції 35/10 кВ. Проведений розрахунок заземлення та блискавкозахисту підстанції.

У **п'ятому розділі «Спеціальна частина»** досліджений досвід побудови електромереж середнього класу напруги. Розглянута динаміка втрат в електромережах. Досліджені особливості схемних рішень в розподільних мережах середнього класу напруг Фінляндії.

У **шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності»** проаналізована економічна ефективність електроенергетичної системи з традиційними і відновлюваними джерелами енергії. Проведений розрахунок економічної ефективності вибору трансформаторів власних потреб.

У **сьомому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** проведений аналіз безпеки електропостачання міськими електричними мережами. Досліджена роль цивільного захисту в системі

національної безпеки.

У восьмому розділі «Екологія» розглянуті проблеми використання планетарної енергетики на потреби людства.

## ВИСНОВКИ

В дипломній роботі досліджена енергоефективність функціонування розподільних електромереж шляхом їх реконструкції з переведенням на середній клас напруги 20 кВ трансформаторних підстанцій 35/10 кВ для забезпечення економії електроенергії.

Отримані такі результати:

1. Проведений аналіз навантажень району електропостачання 110/10 кВ з понижувальною підстанцією 35/10 кВ «Плужна», а також аналіз електроустаткування та стану комутаційного обладнання підстанції.

2. Досліджені моделі зменшення втрат потужності, втрат напруги та отримання економічного ефекту в електромережах 110/10 кВ при їх реконструкції на напругу 110/20 кВ.

3. Встановлено, що перехід електромереж на напругу 20 кВ з використанням інноваційних технологій дозволить збільшити їх пропускну здатність в 2-2,5 рази в порівнянні з мережами 6-10 кВ в межах тієї ж території, а використання малогабаритних розподільчих пристроїв та щоглових трансформаторів заводської готовності призведе до зменшення їх вартості.

4. Проаналізований позитивний досвід зарубіжних країн щодо реконструкції та функціонування електромереж середнього класу напруги.

5. Обґрунтований вибір сучасного комутаційного обладнання підстанції для підвищення енергоефективності та надійності постачання електроенергії споживачам: елегазових високовольтних вимикачів, роз'єднувачів, обмежувачів перенапруги, трансформаторів струму і напруги на стороні 35 кВ, а також вакуумних високовольтних вимикачів, шинних роз'єднувачів, трансформаторів струму і напруги, обмежувачів перенапруги на стороні 10 кВ.

6. Здійснено вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги, струмовідних частин, трансформатора власних потреб та іншого комутаційного обладнання ПС 35/10 кВ.

7 Проведений розрахунок струмів двофазного і трифазного короткого замикання в трьох характерних точках електричної схеми ПС, необхідних для вибору і перевірки електричних апаратів та провідників підстанції, а також для вибору уставок релейного захисту і визначення їх чутливості.

Досліджена можливість реконструкції електромережі 110/10 кВ шляхом переведення трирівневого класу напруг 110/35/10 кВ на дворівневий клас 110/20 кВ підвищать енергоефективність функціонування систем електропостачання, а також сприятимуть безпеці персоналу й недопущенню екологічного забруднення довкілля.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Вакуленко О. О. Аналіз ефективності реконструкції електромереж середньої напруги / О. О. Вакуленко, В. Я. Решетник, Л. В. Петренко // Матеріали IV МНТК ТНТУ «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій» (20–21 червня 2019 р., Тернопіль) : Зб. тез доп. – Тернопіль, 2019. – С. 281–283.

### АНОТАЦІЯ

**Петренко Л. В.** Підвищення ефективності функціонування електричних мереж 110/10 кВ. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Центр перепідготовки та післядипломної освіти. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕд–2. - Тернопіль : ТНТУ, 2019.

Стор. - 125; рис. - 32; табл. - 7; креслень - 6; джерел - 39; додатків -.

У дипломній роботі проведено модернізацію трансформаторної підстанції 35/10 кВ з використанням сучасного комутуючого обладнання для забезпечення надійності й ефективності постачання електроенергії споживачам.

Досліджені моделі зменшення втрат потужності, втрат напруги та отримання економічного ефекту в електромережах 110/10 кВ при їх реконструкції на напругу 110/20 кВ.

Встановлено, що реконструкція електромереж на напругу 20 кВ з використанням інноваційних технологій дозволить збільшити їх пропускну здатність в 2-2,5 рази в порівнянні з мережами 6-10 кВ в межах тієї ж території, а використання малогабаритних розподільчих пристроїв та щоглових трансформаторів заводської готовності призведе до зменшення їх вартості.

Виконаний розрахунок струмів короткого замикання кіл навантажень 35/10 кВ, на основі яких здійснено вибір захисного обладнання.

**Ключові слова:** понижувальна підстанція, електрична мережа, ефективність, комутаційне обладнання.

### ANNOTATION

**Petrenko L.** Improving the efficiency of the 110/10 kV power lines operation. 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Center for retraining and postgraduate education. Chair of Electrical Engineering, group EEd–2. - Ternopil : TNTU, 2019.

Pages - 125; Illustrations - 32; Tables - 7; Drawings - 6; Sources - 39; Applications –.

In this diploma paper the modernization of the 35/10 kV transformer substation with the use of modern switching equipment to ensure the reliability and efficiency of electricity supply to consumers has been carried out.

Models reduction of the power losses, voltage losses and obtaining economic effect in 110/10 kV power grids during their reconstruction to 110/20 kV voltage has been investigated.

It is established that the reconstruction of 20 kV power grids with the use of innovative technologies will allow to increase their capacity by 2-2,5 times in comparison with 6-10 kV networks within the same territory, and the use of small switchgear and mast transformers of factory readiness to reduce their value.

The calculation of short circuits currents of 35/10 kV loads, on the basis of which the choice of protective equipment are executed.

**Keywords:** remote substance, electric network, efficiency, comuting equipment.