

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
Факультет енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

## ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО  
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ  
ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ РАЙОННОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ  
ПІДСТАНЦІ 35/10 КВ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ АКЦІОНЕРНОГО  
ТОВАРИСТВА «ХМЕЛЬНИЦЬКОБЛЕНЕРґО»**

**Виконав:**

здобувач вищої освіти денної форми  
навчання освітнього ступеня «Магістр»,  
освітньо-професійної програми  
«Енергетичний менеджмент» спеціальності  
141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

\_\_\_\_\_ **Денис САНЦЬКИЙ**

**Керівник:** кандидат технічних наук, доцент

\_\_\_\_\_ **Павло ПОТАПСЬКИЙ**

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів \_\_\_\_\_ Шкала ECTS \_\_\_\_\_

**Допускається до захисту:**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

Керівник проектної групи  
(гарант освітньої програми)

«Енергетичний менеджмент»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

Докт. с.-г. наук, канд. техн. наук, доцент \_\_\_\_\_ **Олег ТКАЧ**

м. Кам'янець-Подільський, 2023р.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	11
1.1 Трансформаторна підстанція як основна комірka електроенергетичної системи .....	11
1.2. Аналіз трансформаторної підстанції 35/10 кВ та її району електропостачання .....	14
1.3. Аналіз технічного стану комутаційного обладнання ПС 35/10 кВ.....	14
1.4. Аналіз потужності режимів і ефективності роботи підстанції.....	15
1.5. Мікропроцесорний пристрій релейного захисту та автоматики МРЗС-05-01	
Висновки до розділу 1 .....	24
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВЕДЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НА НАПРУГУ 20 КВ .....	26
2.1. Необхідність модернізації електричних мереж середнього класу напруги. 26	
2.2. Дослідження ефективності впровадження електричних мереж номіналом 20 кВ .....	29
Висновки до розділу 2 .....	33
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	34
3.1 Вибір силових трансформаторів модернізованої трансформаторної підстанції	
3.2. Розрахунок навантажень на шинах 10кВ підстанції 35/10 кВ.....	35
3.3. Оцінка можливих варіантів модернізації первинної електричної схеми підстанції 35/10 кВ .....	38
Висновки до розділу 3 .....	43
РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	44
4.1 Розрахунок струмів короткого замикання.....	44
4.2. Вибір схеми живлення підстанції та її основних функціональних елементів на стороні 35 кВ.....	47
4.3. Вибір високовольтних вимикачів навантаження на стороні 35 кВ.....	50

4.4. Вибір роз'єднувачів розподільчого пристрою 35 кВ.....	52
4.5. Вибір приладів обліку і контролю електроенергії .....	54
4.6. Вибір трансформаторів струму 35 кВ .....	55
4.7. Вибір трансформаторів напруги 35 кВ .....	58
4.8. Вибір обмежувачів перенапруги 35 кВ .....	58
4.9. Загальна характеристика елементів підстанції на стороні 10 кВ .....	60
4.10. Вибір високовольтних вимикачів навантаження на стороні 10 кВ.....	62
4.11. Вибір трансформаторів струму 10 кВ .....	63
4.12. Вибір трансформаторів напруги 10кВ .....	67
4.13. Вибір шинних роз'єднувачів напруги 10 кВ .....	68
4.14. Вибір трансформатора власних потреб .....	70
4.15. Вибір запобіжників та автоматичних вимикачів .....	72
4.16. Вибір обмежувачів перенапруги 10 кВ .....	74
4.17. Розрахунок штучного заземлення та грозозахисту ПС 35/10 кВ .....	76
4.18. Обґрунтування приладів компенсації реактивної потужності .....	82
Висновки до розділу 4.....	82
<b>РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ДОСВІДУ ПОБУДОВИ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ СЕРЕДНЬОГО КЛАСУ НАПРУГИ.....</b>	<b>84</b>
5.1. Дослідження динаміки втрат електроенергії в електромережах європейських країн.....	84
5.2. Розподільні мережі зарубіжних країн. Особливості схемних рішень .....	86
5.2.1. Номінальні напруги розподільної мережі.....	86
5.2.2. Улаштування трансформаторних підстанцій номінальної напруги 110/20 кВ .....	87
5.2.3. Улаштування захистів силового трансформатора .....	88
5.2.4. Релейний захист відходящих ліній 20кВ .....	88
5.2.5. Понижувальні підстанції 20/0,4 кВ .....	89
Висновки до розділу 5 .....	92
<b>РОЗДІЛ 6. ОБґРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ .....</b>	<b>93</b>
6.1 Аналіз економічної ефективності електроенергетичної системи з	

традиційними і відновлюваними джерелами енергії.....	93
6.1.1. Ступінь деталізації розрахунків економічної ефективності.....	98
6.2. Розрахунок економічної ефективності вибору трансформаторів власних потреб .....	99
6.2.1. Техніко–економічні показники системи електропостачання .....	103
<b>РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>104</b>
7.1 Аналіз безпеки електропостачання міськими електричними мережами.....	104
7.1.1. Однофазні замикання на землю.....	104
7.1.2. Забезпечення електробезпеки при однофазному замиканні на землю ....	105
7.2. Роль цивільного захисту в системі національної безпеки .....	108
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>111</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>113</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Ефективність та надійність сучасних електротехнічних систем і систем електропостачання в умовах зростання електричних навантажень і їх щільності напругу залежать від архітектурних рішень, прийнятих для побудови розподільних електричних мереж. Концепція "розумної енергетики" у більшості наукових досліджень відображається у розробці нових технологій: систем контролю та управління, електромагнітних перетворювачів, виконавчих пристроїв та швидкодіючих цифрових пристроїв захисту. Часто ці інновації застосовуються на об'єктах високої і надвисокої напруги, проте питання поліпшення параметрів і керованості розподільних мереж середньої напруги мало вивчається.

Розвиток мереж середньої напруги 20 кВ не завжди має системний характер і часто обмежується необхідністю, не враховуючи загальної стратегії, що може призвести до збільшення втрат потужності та ускладнень у експлуатації. Наразі інновації в електроенергетиці нерозривно пов'язані з мікропроцесорною технікою, цифровими технологіями та системами комунікації. Створення ефективних та адаптивних алгоритмів функціонування електричних мереж є найважливішим завданням, яке можуть вирішити тільки фахівці з електроенергетики.

Проблема збільшення щільності електричних навантажень підносить питання підвищення рівня напруги та, відповідно, пропускної здатності електромережевого устаткування. Часто існуюча кабельна інфраструктура мереж 6-10 кВ працює на межі своєї пропускної здатності. Проекти електропостачання нових районів на основі перспективної напруги 20 кВ уже реалізуються, проте науково обґрунтованих рішень щодо їх впровадження досі дуже мало.

На сьогоднішній день більшість існуючих систем електропостачання є ієрархічними і не здатними швидко реагувати на зовнішні впливи. Нові технічні рішення, такі як багатофункціональні цифрові системи та стандарт МЕК 61850, відкривають можливості для створення "динамічних" систем, які можуть адаптуватися до змін режимів та збурень енергосистем.

Для ефективного вирішення цих проблем пропонується комплексний підхід до реконфігурації розподільних мереж середньої напруги 6(10) кВ з переведенням їх на напругу 20 кВ, створення центрів живлення та впровадження ліній передавання цієї напруги з використанням нового рівня автоматизації мережі.

**Мета і завдання дослідження.** Мета магістерської роботи полягає у модернізації схеми та технічного обладнання понижувальної трансформаторної підстанції 35/10 кВ, що є складовою частиною електромережі 110 кВ, а також у розробці заходів з підвищення енергоефективності цієї системи електропостачання.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- Проаналізувати сучасні технічні рішення щодо підвищення ефективності і надійності систем електропостачання шляхом заміни комутаційного, виміррювального обладнання та пристроїв релейного захисту на новітні, з використанням мікропроцесорних технологій.

- Провести аналіз характеристик сучасного високовольтного комутаційного обладнання трансформаторної підстанції (вимикачі, роз'єднувачі) з метою заміни застарілого та фізично зношеного.

- Порівняти характеристики розподільних електромереж 10 (6) кВ та 20 кВ для вивчення їх техніко-економічних показників.

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

- Здійснити реконструкцію 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.**

Методи забезпечення ефективності роботи трансформаторних підстанцій отримали подальший розвиток шляхом їх реконструкції з використанням сучасного комутуючого обладнання та мікропроцесорних пристроїв релейного

захисту.

Для подальшого дослідження запропоновано модель зменшення втрат потужності, втрат напруги та досягнення економічного ефекту в електромережах 110/10 кВ під час їх реконструкції на напругу 110/20 кВ.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Впровадження отриманих результатів досліджень та методів реконструкції трансформаторних підстанцій дозволить підвищити ефективність функціонування електромережі.

**Публікації.** Денис САНІЦЬКИЙ / Перспективи переведення розподільних мереж України на номінальну напругу 20 кВ // III Всеукраїнська студентська науково-практична конференція «Ефективне використання енергії: стан і перспективи» (09 листопада 2023 року) / Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Кам'янець – Подільський. 2023.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 7-и розділів, висновків, переліку посилань (41 найменування).

Загальний обсяг текстової частини - 117 стор., 7 табл., 32 рис.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У випускній роботі була проведена оцінка енергоефективності функціонування розподільних електромереж шляхом їх реконструкції з переведенням на середній клас напруги 20 кВ трансформаторних підстанцій 35/10 кВ з метою забезпечення економії електроенергії.

Отримані такі результати:

1. Проведено аналіз навантаження електропостачання в районі 110/10 кВ з урахуванням понижувальної підстанції 35/10 кВ «Адампіль», а також оцінено стан електроустаткування та комутаційного обладнання даної підстанції.

2. Досліджено моделі зменшення втрат потужності та напруги, а також отримання економічного ефекту при реконструкції електромереж 110/10 кВ на напругу 110/20 кВ.

3. Виявлено, що перехід до напруги 20 кВ з використанням новітніх технологій дозволить значно збільшити пропускну здатність мереж у порівнянні з мережами 6-10 кВ на тій же території. Використання компактних розподільчих пристроїв і щоголових трансформаторів зменшить їх вартість.

4. Проаналізовано позитивний досвід з реконструкції та функціонування електромереж середнього класу напруги у зарубіжних країнах.

5. Обґрунтовано вибір сучасного комутаційного обладнання для підстанції з метою підвищення енергоефективності та надійності електропостачання споживачів.

6. Здійснено вибір необхідного комутаційного обладнання, включаючи вимірювальні трансформатори струму і напруги, струмовідні частини та трансформатор власних потреб.

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

Досліджено можливість реконструкції електромережі 110/10 кВ шляхом переведення з трьох рівнів напруги (110/35/10 кВ) на два рівні (110/20 кВ). Це покращить енергоефективність систем електропостачання, а також забезпечить безпеку персоналу та запобігатиме екологічному забрудненню довкілля.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Артем'єв С. Р. Уточнення ролі цивільного захисту в системі національної безпеки / С. Р. Артем'єв, О. Д. Малько // Матеріали 20-ї ВВПК «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (9–10 жовтня 2018 р., м.Київ) : Зб. тез доп. – К., 2018. – С. 24–26.
2. Батлук В. А. Охорона праці. Підручник / В. А. Батлук, М. П. Кулик, Р. А. Яцюк. – Львів : Вид-цтво НУ «Львівська політехніка», 2009, 360 с.
3. Бахор З. М. Техніко-економічні аспекти впровадження електричних мереж напругою 20 кВ / З. М. Бахор, А. Б. Козовий та ін. // Вісник Він. політехн. ін-ту. – 2018. - №1. – С. 53–58.
4. Бень Т. Г. До визначення економічної ефективності інвестицій // Економіка України. – 2007. - №4. – С. 12–19.
5. Бойчик І. М. Економіка підприємства. Навч. посіб. – Вид. 2-е, доп. і перероб. – К. : Атіка, 2007. – 528 с.
6. Бойчук Ю. Д. Екологія і охорона навколишнього середовища. Навч. посібн. / Ю Д. Бойчук, Е. М. Солошенко, О. В. Бугай. – Суми : Університетська книга, 2012. – 284 с.
7. Фінансовий менеджмент : навч. посіб. / [Васьківська К. В., Сич О. А.] . – Львів: «ГАЛИЧ-ПРЕС», 2017. – 236 с.
8. Гойко А.Ф. Методи оцінки ефективності інвестицій та пріоритетні напрями їх реалізації. — К.: ВІРА-Р, 1999. — 320 с.
9. Буйний Р. О. Обґрунтування області використання класу напруги 20 кВ у міських електричних мережах України / Р. О. Буйний, А. В. Красножон та ін. // Технічна електродинаміка. – 2019. - №1. – С. 68–71.
10. Буйний Р. О. Регресійні залежності вартісних показників елементів електричних мереж напругою 10–35 кВ / Р. О. Буйний, В. О. Перепечений, В. В. Зорін // Вісник НТУ ХПІ. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2017. - №7. – С. 18–23.

11. 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.

12. Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми і електричні мережі : ГКД 340.000.002–97. – Офіц. вид. – К. : Міненерго України, 1997. – 52 с. – (Галузевий керівний документ).

13. Денисюк С. П. Перспективи використання технологій передачі електричної енергії на номінальній напрузі 20 кВ у розподільних електричних мережах України / С. П. Денисюк, Д. С. Горенко та ін. // Електрифікація транспорту. Електропостачання. – 2016. - №12. – С. 12–19.

14. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. Навч. посібник. – Вид. 2-е. – К. : Знання, 2002. – 203 с.

15. Дмитрієв С. Н. Міські електричні мережі. Забезпечення надійності та безпеки електропостачання / С. Н. Дмитрієв, Ю. В. Целебровський, С. В. Нестеров // Новини електротехніки. - 2010. - №5 (65). – С. 21–26.

16. Економіка підприємства. Збірник практичних задач і конкретних ситуацій. Навч. посібн. / За ред. С. Ф. Покропивного. – К. : Техніка, 1999.– 178 с.

17. Євдін О. М. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. Т. 1. Техногенна та природна небезпека. Посібник / За заг. ред. В. В. Могильниченка. – К. : КІМ, 2007. – 636 с.

18. Кадиков Ю. М. Планетарна енергетика. Екологічні та економічні аспекти / Ю. М. Кадиков, О. Ю. Кадикова // Новини електротехніки. - 2010. - № 1 (61). – С. 16–19.

19. Катеринич М. Б. Аналіз та оцінка інвестиційних проектів // Економічна наука. Інвестиції: практика та досвід. – 2007. - №16. – С. 11–17.

20. Кодекс цивільного захисту України (від 02.10.2012 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

21. Кужеков С. Л. Запобігання багатомісним ушкодженням КЛ 6–10 кВ

за допомогою короткочасного низькоомного індуктивного заземлення нейтралі / С. Л. Кужеков, В. А. Хничов// Новини електротехніки. - 2010. - №2 (62). - С. 14-18.

22. Кузьміна І. А. Оцінка доцільності переходу міських розподільчих електромереж до рівня напруги 20 кВ // Машинобудування та комп'ютерні технології. - 2017. - №12. – С. 57–65.

23. Бурбело М. Й. Стимулювання зменшення втрат в електричних мережах : монографія / М. Й. Бурбело, Л. М. Мельничук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 110 с.

24. Лук'яненко Ю. В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні. Навч. посібн. / Ю. В. Лук'яненко, Ж. І. Остапчук, В. В. Кулик. – Вінниця : ВДТУ, 2002.– 116 с.

25. Методичні рекомендації щодо заземлення нейтралі електричних мереж 6–35 кВ через резистор / В. Гажаман та ін.; розроб. А. Квицинський; викон. В. Сантоцький. – К. : Міненерговугілля, 2018. – 87 с.

26. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці:Підручник.-Л.:Афіша,2002.-320 с.

27. Плешков П. Г. Визначення економічної ефективності комплексної електроенергетичної системи для сільського господарства / П. Г. Плешков, В. П. Солдатенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2010. – Вип. 40, част. II. – С. 266–270.

28. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : ДНАОП 0.00- 1.21-1998 / Вид. офіційне. Мінпраці України. – К. : Офіційний вісник України, 12.03.1998. - №8. – С. 394.

29. Правила улаштування електроустановок / Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Вид-во «Форт», 2017. – 760 с.

30. Прокопенко В. А. Особливості економічного ефекту інвестицій у розвиток локальних електричних мереж // Економічна наука. Інвестиції: практика

та досвід. – 2016. - №17. – С. 38–44.

31. Електрична частина станцій та підстанцій: курс лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/уклад.: О.В. Остапчук, П.Л. Денисюк, Ю.П. Матеєнко/КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Електронні текстові дані (1 файл: 4,62 Мбайт). – Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. – 183 с.

32. Релейний захист: автоматика в системах електропостачання. П.П. Говоров, Г.А. Сендеревич, В.Ф. Соколов та ін. Навчальний посібник. – К.: ІЗМН, 1996 – 228с.

33. Ситник Г. П. Державне управління у сфері національної безпеки (концептуальні та організаційно–правові засади) : підручник. - К. : НАДУ, 2012. - 544 с.

34. Волох П.В., Цоколенко М.П., Ревенко Л.В., Грічаненко В.А. та ін. Довідникова книга з електроенергетики : Навчальний посібник – К.: Аграрна освіта, 2014. – 506 с.

35. Сулейманов В. М. Моделі та методи оптимізації розвитку основних мереж енергосистем в умовах ринкових відносин / В. М. Сулейманов, В. А. Баженов, Т. Л. Кацадзе // Енергетика : економіка, технології, екологія. – 2014. – №4. – С.58–65.

36. Циганенко Б. В. Особливості функціонування розподільних мереж середнього класу напруги та їх переведення на напругу 20 кВ / Б. В. Циганенко, В. В. Кирик // Гідроенергетика України. – 2016. - №3–4. – С. 7–13.

37. Циганенко Б. В. Перспективи переведення розподільних мереж України на номінальну напругу 20 кВ // Наук. праці ВНТУ. Енергетика та електротехніка. – 2016. - №1. – С. 1–4.

38. Методичні рекомендації щодо виконання та оформлення кваліфікаційної роботи магістра / Т.Д.Гуцол, Л.М.Михайлова, І.Д.Гарасимчук, В.М.Дубік, О.В.Ткач, П.В.Потапський. (За загальною редакцією Михайлової Л. М.) – ПДАТУ, 2019. – 30 с.

39. Система дистанційного навчання Moodle 2.7. – «ЗВО «ПДУ».

Режим доступу: <http://pdatu.net.ua/>.– Назва з екрана.

40. Методичні вказівки щодо виконання та оформлення курсових робіт з навчальної дисципліни «Основи електропостачання» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освіти / М.В. Вусатий, І.Д. Гарасимчук, П.В. Потапський. (За загальною редакцією М.В. Вусатого) – ПДАТУ, 2021.- 68с.

41. Конспект лекцій з дисципліни “Основи електропостачання ” (скорочений курс лекцій, частина 1) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освіти денної та заочної форми навчання спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Микола ВУСАТИЙ, Павло ПОТАПСЬКИЙ, Ігор ГАРАСИМЧУК (За загальною редакцією Павла ПОТАПСЬКОГО). – Кам'янець – Подільський: ЗВО «ПДУ», 2023. – 127с.