

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

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

«ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ»

Виконав:

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

ЯВОРСЬКИЙ Віталій Володимирович

Керівник канд. техн. наук, доцент

ДУМАНСЬКИЙ Олександр Васильович

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

« ____ » _____ 2023 р.

Допускається до захисту:

« ____ » _____ 2023 р.

Гарант освітньо-професійної програми
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка» спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»
канд. техн. наук, доцент

Ігор ГАРАСИМЧУК

м. Кам'янець-Подільський, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ЗАГАЛЬНИХ ПРОБЛЕМ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ	11
1.1 Загальна характеристика генеруючих об'єктів ОЕС України	12
1.2 Загальна характеристика магістральних електричних мереж	18
1.3 Технічний стан розподільних електричних мереж	21
1.4 Технічний стан та організація експлуатації енергетичного обладнання споживачів.....	25
1.5 Аналіз проблемних питань об'єктів енергетики	27
1.6 Загальні підходи до формування системи моніторингу об'єктів енергетики.....	29
Висновки до розділу 1	37
РОЗДІЛ 2 НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ	38
2.1 Загальні підходи формування системи моніторингу елементів електричних мереж	38
2.2 Загальна характеристика методичних засад проведення оцінки.....	44
2.3 Методи оцінки технічного стану об'єктів розподільних мереж з використанням нечіткої логіки	57
2.4 Експертне оцінювання факторів впливу на формування попиту на електричну енергію та потужність	74
Висновки до розділу 2	76
РОЗДІЛ 3 ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ.....	77
3.1. Загальні характеристики силових трансформаторів.....	77
3.2 Оцінка технічного стану силових трансформаторів.....	84
3.3 Моделювання оцінки стану трансформатору за допомогою нечіткої логіки.....	88
Висновки до розділу 3.....	90

РОЗДІЛ 4 СТАРТАП ПРОЕКТ «ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЄКТІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ»	93
Висновки до розділу 4.....	97
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	98
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	99

АНОТАЦІЇ

У дипломній роботі дана загальна характеристика генеруючих об'єктів ОЕС України, зроблено аналіз встановленої генеруючої потужності та режимів роботи генеруючого обладнання, розглянуті проблемні питання експлуатації генеруючого обладнання, магістральних та розподільчих електричних мереж, представлений технічний стан розподільних електричних мереж і організації експлуатації енергетичного обладнання споживачів, наведені науково-методичні засади формування системи моніторингу, зформовані системи моніторингу об'єктів енергетики, складений стартап проект «оцінка технічного стану об'єктів розподільних електричних мереж».

ANNOTATION

The thesis gives a general description of the generating facilities of the UES of Ukraine, an analysis of the installed generating capacity and operating modes of the generating equipment is made, problematic issues of the operation of the generating equipment, trunk and distribution electric networks are considered, the technical state of the distribution electric networks and the organization of the operation of the energy equipment of consumers are presented. the scientific and methodological principles of the formation of the monitoring system are presented, the monitoring systems of energy facilities are formed, the start-up project "assessment of the technical condition of the facilities of distribution electric networks" is compiled.

РЕФЕРАТ

ЯВОРСЬКИЙ Віталій Володимирович. Дослідження системи моніторингу технічного стану об'єктів електричних мереж. Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Факультет енергетики та інформаційних технологій. Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2023.

У дипломній роботі дана загальна характеристика генеруючих об'єктів ОЕС України, зроблено аналіз встановленої генеруючої потужності та режимів роботи генеруючого обладнання, розглянуті проблемні питання експлуатації генеруючого обладнання, магістральних та розподільчих електричних мереж, представлений технічний стан розподільних електричних мереж і організації експлуатації енергетичного обладнання споживачів, наведені науково-методичні засади формування системи моніторингу, зформовані системи моніторингу об'єктів енергетики, складений стартап проект «оцінка технічного стану об'єктів розподільних електричних мереж».

Ключові слова: моніторинг, система моніторингу, розподільні мережі, трансформатор, нечітка логіка

ВСТУП

Актуальність теми. Ключовою проблемою електроенергетичної галузі є високий рівень зношення електроенергетичного обладнання, що використовується для виробництва, передачі та розподілу електричної енергії, основна частина якого введена в експлуатацію в 1960 – 1970-х роках минулого століття, а спроектована за нормами 1950-х років. На переважній більшості електричних станцій проектний ресурс обладнання вже вичерпано і воно експлуатується понад парковий термін експлуатації. Аналогічна ситуація спостерігається і з мережевим обладнанням системи передачі та систем розподілу електричної енергії.

Нормативно-правова база та методи, що застосовуються для регулювання діяльності в секторі, не відповідають вимогам сьогодення та не створюють необхідних стимулів для інвестування в оновлення обладнання та розвиток галузі. Хоча встановлена потужність виробництва в ОЕС України суттєво перевищує пікові навантаження, через застарілість обладнання та недостатні запаси вугілля на електростанціях реальна доступна потужність електростанцій є нижчою, і в окремі періоди спостерігається дефіцит резервних потужностей. Аналіз функціонування усіх складових частин електроенергетичної галузі України свідчить, що ОЕС України, в цілому, забезпечує поточні суспільні потреби країни в електричній енергії, а також здійснення її експорту, імпорту та транзиту, проте в роботі ОЕС існує цілий ряд ризиків і негативних тенденцій, які вже зараз перешкоджають здійсненню функцій виробництва і транспортування електричної енергії з прийнятними рівнями надійності та ефективності, з дотриманням сучасних вимог щодо енергозбереження, охорони навколишнього природного середовища та техногенної безпеки.

Загальний технічний стан розподільних електричних мереж характеризується як незадовільний, що суттєво впливає на запровадження ринкових відносин в енергетичній галузі. Для становлення ринкових відносин в

економіці країни незмінно вимагається перегляд та удосконалення, а іноді і розробка нових систем моніторингу технічного стану об'єктів енергетичної галузі.

Мета і завдання дослідження. *Метою* є підвищення ефективності функціонування об'єктів розподільчих електричних мереж шляхом забезпечення їх своєчасної модернізації та оновлення.

Задачі дослідження:

1) Проаналізувати існуючий технічний стан розподільних електричних мереж та виявити проблемні питання в їх роботі.

2) Проаналізувати методи оцінки технічного стану розподільних електричних мереж та сформулювати пропозиції щодо удосконалення цих методів для забезпечення виконання вимог Закону України «Про ринок електричної енергії».

3) Формування сучасної системи моніторингу розподільних електричних мереж в умовах нового ринку електричної енергії.

4) Провести апробацію практичних рішень щодо методів оцінки технічного стану розподільчих електричних мереж.

Об'єкт дослідження – характеристики технічного стану об'єктів розподільних електричних мереж та режими їх роботи.

Предмет дослідження – методи оцінки технічного стану об'єктів розподільних електричних мереж.

Методи дослідження. Основу виконаних досліджень склали такі методи:

1) Методи математичної статистики для проведення аналізу характеристик обладнання та динаміки зміни показників.

2) Елементи експертного оцінювання для прийняття рішень щодо можливості подальшої експлуатації, продовження терміну експлуатації або негайної заміни обладнання.

3) Теорія нечітких множин для зменшення ризиків прийняття необґрунтованих рішень в умовах обмеженої інформації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами проведеного дослідження можна зробити такі узагальнюючі висновки:

- 1) В умовах високого рівня зношеності електроенергетичного обладнання, що використовується для виробництва, передачі та розподілу електричної енергії, важливим є формування належної системи моніторингу, оцінки та прийняття відповідних рішень.
- 2) Система моніторингу повинна охоплювати встановлення відповідних критеріїв: цільовий блок, технологічний блок та результативний блок. При цьому така система може бути сформована окремо для кожного енергетичного об'єкту електропередавальної організації і повинна розглядатися комплексі.
- 3) Існуючі методики оцінки технічного стану дозволяють з певним рівнем точності визначити технічний стан об'єкта, водночас, в умовах старіння обладнання, несвоєчасного проведення ремонтних робіт на об'єкті важливим є врахування ймовірності виникнення окремих факторів. При цьому, врахування може бути здійснене при врахуванні алгоритмів нечіткої логіки.
- 4) Результати моніторингу, а також відповідного моделювання технічного стану об'єктів енергетики в комплексі можуть бути використані при здійсненні обстеження електропередавальної організації з метою підвищення ефективності її роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про ринок електричної енергії»: № 2019 – VIII від 13.04.2017 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
2. План розвитку розподільних електричних мереж на 2016 – 2025 роки [Електронний ресурс]: Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. – Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=244972812
3. Режим роботи ГЕС і ГАЕС в об'єднаних енергосистемах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ru/books/60-entsiklopediya/rozvitok-teploenergetiki-ta-gidroenergetiki/chastina-2-gidroenergetika/rozdil-2-gidroenergetichni-resursi-jikh-vikoristannya-prinsipovi-skhemi-parametri-rezhimi-roboti-ges-i-gaes/170-2-8-rezhim-roboti-ges-i-gaes-v-ob-ednanikh-energосistemakh>
4. Звіт про результати діяльності у 2016 році [Електронний ресурс]: Затверджено постановою НКРЕКП від 30.03.2017 № 460. – Режим доступу: http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi_zvit_NKREKP_2016.pdf.
5. Мережі Укренерго [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.energy/about/merezhi-ukrenergo/>
6. План розвитку розподільних електричних мереж на 2016-2020 роки [Електронний ресурс]: Затверджено наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 29.09.2014 № 680. – Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245064086&cat_id=245064078

7. Ахромкін А.О. Сучасні характеристики електричних мереж України: регіональний аспект // А.О. Ахромкін / Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – № 6 (223). – 2015.
8. Циганенко Б. В. Ефективність роботи розподільних електричних мереж при підвищенні їх класу напруги : 05.14.02 / Циганенко Борис Володимирович – Київ, 2017. – 271 с.
9. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах электроснабжения [Текст]/ А.В. Праховник – К.:Освіта України, 2007. – 464.
10. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими [Текст] / Базюк Т.М., Блінов І.В., Буткевич О.Ф., Гончаренко І.С., Денисюк С.П. та ін.; За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с.
11. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52–67.
12. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення // Технічна електродинаміка .- 2010. - №6 . – С.44-50.
13. НКРЕКП: Ключові проблеми електроенергетики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vse.energy/news/pek-news/electro/485-nerc-zvit>
14. План розвитку ОЕС України на 2017 – 2026 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2016/12/Proekt-Planu-rozvytku-OES-Ukrayiny-na-2017-2026-roky.pdf>
15. Модель моніторингу якості навчального процесу у вищому навчальному закладі / В. О. Зінченко // Освіта та педагогічна наука. – 2013. – № 3. – С. 16-26.
16. Основи моніторингу в електроенергетиці. Про поняття моніторингу / Б.С. Стогній, М.Ф. Сопель // Технічна електродинаміка. — 2013. — № 1. — С. 62–69.

17. Циганенко Б. В. Ефективність роботи розподільних електричних мереж при підвищенні їх класу напруги : 05.14.02 / Циганенко Борис Володимирович – Київ, 2017. – 271 с.
18. Методичні вказівки з обліку та аналізу в енергосистемах технічного стану розподільчих мереж напругою 0,38-20 кВ за повітряними лініями електропередачі" (СОУ-Н МПЕ 40.1.20.576:2005) [Електронний ресурс]: Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України від 03.02.2005 р. №60 <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245088027>
19. Бардик Є. І. Підвищення надійності функціонування енергокомпаній на основі оцінки ризику виникнення аварійних ситуацій при відмовах електрообладнання / Є. І. Бардик, М. В. Костерев, М. П. Болотний // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2014. – Вип. 39. – С. 13 – 19.
20. Ситников В.Ф., Скопинцев В.А. Вероятностно-статистический подход к оценке ресурсов электросетевого оборудования в процессе эксплуатации // Электричество. – 2007. – № 11. – С. 9–15.
21. Костерев М.В., Бардик Є.І., Литвинов В.В. Нечітко-статистичний підхід до оцінювання експлуатаційної та режимної надійності об'єктів підсистем електроенергетичної системи // Наук. пр. Донецького нац.техн. ун-ту. Сер.: Електротехніка і енергетика. – 2013. – № 1(14). – С. 122–128
22. Костерев М.В., Бардик Є.І. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем. – К.: НТУУ КПІ, 2011. – 148 с.
23. Бардик Є.І. Параметричне прогнозування залишкового ресурсу електрообладнання енергосистем на основі нечіткого регресійного аналізу // Мат. II Міжнар. конф. "Інтелектуальні енергетичні системи – ІЕС", м. Мукачеве, 2011.
24. Бардик Є.І. Прогнозування змінення ресурсних параметрів високовольтних вимикачів на основі теорії нечітких часових рядів // Гідроенергетика України. – 2011. – № 3-4.

25. Бардик Є.І., Спотар О.С. Ідентифікація параметрів функцій розподілу імовірності відмов електрообладнання для оцінки експлуатаційного ризику електроенергетичних систем (ЕЕС) // Мат. XIII Міжнар. наук.практ. конф. «Відновлювана енергетика XXI століття». – АР Крим, смт. Миколаївка, 2012. – С. 102–105.
26. Львов М.Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов // Электричество. – 2010. – № 2. – С. 27–31.
27. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Интеллектуальні електричні мережі: досвід і перспективи України // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – Спец. вип. – 2011. – 552 с.
28. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 176 с.
29. Бардик Є. І. Моделювання та оцінка ризику відмов електрообладнання електроенергетичних систем з урахуванням рівня відновлення ресурсу після ремонту / Є. І. Бардик // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – № 3. – С. 82–90.
30. Кухарчук В.В. Елементи теорії контролю динамічних параметрів електричних машин: монографія / Кухарчук В.В. // УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1998. – 125 с.
31. Родькин Д.И. К определению послеремонтной работоспособности асинхронных двигателей / Д.И. Родькин, А.П. Черный // Вісник кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук:КДПУ, 2001. – Вип.2(11). – С. 40–47.
32. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / Ротштейн А.П. – Вінниця:УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.

33. Бардик Є. І. Моделювання і оцінка ризику відмови силового трансформатора при збуреннях в зовнішній електричній мережі / Є. І. Бардик, М.П. Болотний // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2015. – Вип. 5. – С. 56-63.
34. Костерев М.В., Бардик Є.І. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 148 с
35. Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є., Жук І.А. Діагностування силових трансформаторів з використанням нечітких множин // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 1. – С. 43–51.
36. Хренников А.Ю. Некоторые вопросы электродинамических испытаний мощных силовых трансформаторов на стойкость токам КЗ // Электричество: Теорет. и науч.-практ. журн. – 2007. – № 12. – С. 15–18.