

## **В І Д Г У К**

### **офіційного опонента на дисертаційну роботу**

### **Грищука Максима Олександровича «Методи та засоби діагностування силових трансформаторів розподільних електричних мереж з фотоелектричними станціями», що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

**Актуальність теми.** В даний час в Україні швидкими темпами розвиваються розподільні електричні мережі з відновлюваними джерелами енергії. До таких джерел відносяться й фотоелектричні станції (ФЕС). Функціонування розподільних мереж з ФЕС неможливе без силових трансформаторів (СТ), пошкодження яких під час експлуатації зменшує надійність та збільшує ймовірність відмови іншого обладнання в мережах.

Вдосконалення існуючої системи діагностування обладнання розподільних електричних мереж, в тому числі й СТ, актуально для сучасної енергетики України. Тому, що близько 40 – 50% трансформаторів відпрацювали свій експлуатаційний ресурс. За таких умов слід враховувати, що статистика пошкоджуваності високовольтного обладнання свідчить й про те, що пошкодження мають місце і у щойно введених в експлуатацію СТ. В зв'язку з цим вдосконалення існуючих методів та засобів діагностування силових трансформаторів розподільних електричних мереж з метою зменшення кількості їх відмов, є актуальною науково-технічною задачею вирішенню якої і присвячено дисертаційну роботу Грищука М.О.

Актуальність теми, відповідно до поданих дисертаційних матеріалів, підтверджується й тим, що результати досліджень є складовою частиною науково-дослідних робіт, виконаних на кафедрі електричних станцій та систем ВНТУ за держбюджетною темою «Інтегрування нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в електричні мережі для підвищення їх

енергоефективності з використанням SMART GRID технологій» (№ держреєстрації 018U000206), в службі ремонтів високовольтного обладнання ВП НЕК Південно-Західної ЕС, АТ ВІННИЦЯОБЛЕНЕРГО та на приватних підприємствах з виробітку електричної енергії (зокрема ФЕС) протягом 2016-2020 років.

### **Зміст і коротка характеристика результатів досліджень.**

В *першому розділі* дисертаційної роботи проаналізовано електроенергетичний комплекс України, що дозволило визначити напрямок економічного розвитку нашої країни за рахунок будівництва нових енергетичних об'єктів генерації електричної енергії в тому числі і ФЕС. Аналіз парку силових трансформаторів показав, що одним із ключових елементів розподільних мереж, які мають переважну більшість є СТ 35-0,4 кВ, що дозволило прийняти рішення досліджувати саме цей клас СТ. Проведений у розділі аналіз математичної моделі фрагменту розподільчої мережі, показав, що СТ часто перебувають у доаварійних режимах, а СТ що експлуатуються на ФЕС також зазнають значних впливів під час частих комутаційних режимів. Проведені дослідження пошкоджуваності СТ показали, що як в Україні так і за кордоном, СТ продовжують пошкоджуватись, незважаючи на різноманіття існуючих методів та засобів діагностування. Зроблено висновки про необхідність вдосконалення методів та засобів діагностування, що дозволять більш точно визначити технічний стан СТ.

В *другому розділі* Досліджено методи діагностування СТ, які описані в науково-технічних інформаційних джерелах, що дозволяють виявити дефекти СТ на різних періодах їх експлуатації. Досліджено послідовність дій, які дозволять визначити готовність СТ до експлуатації під час першого пуску, чи після введення його в експлуатацію після капітального ремонту. Досліджено методи амплітудо-частотного діагностування, які є відносно новими, особливо в Україні і показано, що такий підхід дозволяє виявити

дефекти СТ, за умов правильної їх інтерпретації, навіть на ранній стадії їх розвитку. Проведений у розділі аналіз методів діагностування дозволив узагальнити методи та класифікувати їх для визначення стану СТ під час його експлуатації.

В *третьому розділі* дисертаційного дослідження вдосконалено існуючі і розроблено нові методи та засоби діагностування СТ. Отримав подальший розвиток метод визначення оптимальної послідовності випробувань СТ в залежності від результатів огляду об'єкту, оперативним персоналом, що дозволяє шляхом врахування результату зовнішніх проявів дефекту вибрати оптимальну послідовність контролю та зменшити час на виявлення та обґрунтування можливого дефекту на ранній стадії його розвитку. Запропоновано метод визначення оптимальної кількості випробувань, який шляхом врахування похибок FRAnalyzer та використання D-оптимальних планів дозволяє зменшити помилки першого та другого роду під час визначення технічного стану СТ. Сформовано алгоритм, що дозволяє визначити дату проведення наступної перевірки на основі попередньо проведеного діагностування, що дозволить забезпечити повний контроль технічного стану силового трансформатора. За результатами отриманих алгоритмів сформовано оптимальне дерево рішень, що дозволить підвищити якість обслуговування СТ та забезпечить точне рішення щодо подальших дій під час експлуатації СТ.

В *четвертому розділі* дисертації представлено розроблення засобів визначення технічного стану СТ. Сформовано алгоритм проведення комплексного діагностування СТ, що дозволяє виявити пошкодження навіть на ранній стадії їх розвитку і оптимізувати час витрачений на проведення досліджень. На основі запропонованого алгоритму сформовано структурну схему мікропроцесорного засобу, що забезпечить комплексне вимірювання контрольованих параметрів СТ. Представлено запропонований програмний засіб, що забезпечить комплексний підхід до інтерпретації отриманих результатів під час обробітку вимірних

параметрів трансформатора. Виконано розрахунок впливу помилок першого та другого роду під час комплексного діагностування СТ на результати вимірювань та обробітку отриманих значень.

*В додатках* представлено код програми, результати розрахунків, акти впровадження результатів дослідження, список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

Отже, провівши в процесі роботи над дисертацією наукові дослідження з використанням сучасних методів та технічних засобів, Грищук М.О. досяг поставленої мети – підвищення якості визначення технічного стану силових трансформаторів розподільних мереж з фотоелектричних станцій шляхом вдосконалення їх комплексного діагностування та виявлення пошкоджень на ранній стадії розвитку.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі** Грищука М.О. є високою й базується на аналізі інформаційних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні і детальному критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, у якісному формулюванні отриманих висновків. Дослідження виконано з використанням сучасного математичного й програмного апарату. Отримані результати перевірені використанням вихідної інформації діючих об'єктів, що підтверджує обґрунтованість сформульованих в дисертаційній роботі результатів дослідження, наукових положень, висновків і рекомендацій.

**Достовірність результатів досліджень** забезпечується коректністю постановок математичних задач, застосуванням процедур і методів математичного апарату, застосуванням методів дисперсійного аналізу, FRA аналізу, D-оптимальних планів.

**Основні результати отримані Грищуком М.О. в дисертаційній роботі, які мають суттєву наукову новизну:**

1. Вперше розроблено метод пошуку дефектів силового трансформатора шляхом порівняння амплітудно-частотних характеристик, який за рахунок контролю додаткових діагностичних параметрів, запропонованих за розрахунковими результатами виявлених відхилень цих характеристик, дозволяє підтвердити або спростувати визначений дефект.

2. Отримав подальший розвиток метод визначення технічного стану силового трансформатора, який шляхом врахування похибок вимірювальних приладів та використання D-оптимальних планів дозволяє визначити кількість повторних вимірювань амплітудно-частотних характеристик, що дає можливість зменшити помилки діагностування першого та другого роду.

3. Отримав подальший розвиток метод визначення оптимальної послідовності випробувань силового трансформатора в залежності від зміни результатів їх огляду оперативним персоналом, який шляхом врахування результату зовнішніх проявів дефекту дозволяє вибрати оптимальну послідовність контролю та зменшити час на виявлення та обґрунтування можливого дефекту на ранній стадії його розвитку.

**Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.** Розроблено алгоритми комплексного обстеження технічного стану силових трансформаторів. Розроблено програмну реалізацію запропонованого алгоритму визначення технічного стану трансформаторів для визначення оптимальної кількості вимірювань під час їх комплексного діагностування. Використання запропонованих підходів дозволить зменшити витрати на проведення технічного діагностування силового трансформатора та підвищити достовірність отриманих результатів.

Таким чином, значення результатів для теорії полягає у подальшому розвитку наукового напрямку вдосконаленням методу визначення оптимальної кількості та послідовності випробувань силових трансформаторів і методу визначення дефектів силових трансформаторів шляхом порівняння амплітудно-частотних характеристик.

Результати досліджень мають практичну цінність для фахівців з питань експлуатації розподільних електричних мереж, оскільки дозволяють більш ефективно вирішувати задачу забезпечення надійного та ефективного функціонування об'єктів енергетики, що й підтверджується актами впровадженням в установах та організаціях енергетичного профілю України.

**Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.** Основні положення та результати дисертаційної роботи Грищука М.О. опубліковано в 13 роботах, з них 5 статей у наукових фахових виданнях, що входять до переліку рекомендованих ДАК, 1 стаття у закордонному періодичному виданні, 7 статей у збірниках матеріалів конференцій.

Аналіз публікацій дозволяє зробити висновок, що в них в повному об'ємі опубліковані матеріали дисертації. В цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Список використаних джерел із 180 найменувань досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації.

**Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.** В дисертаційній роботі відсутні порушення академічної доброчесності. Використання ідей, результатів та текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

**По дисертаційній роботі Грищука М.О. є зауваження:**

1. Так як в дисертації розглядаються маслонаповнені трансформатори, не досить зрозуміло з тексту, яким чином враховувалися параметри трансформаторного масла в запропонованому у роботі комплексному підході діагностики стану силових трансформаторів.

2.. В роботі пропонується «...метод пошуку дефектів силового трансформатора шляхом порівняння амплітудно-частотних характеристик, який за рахунок контролю додаткових діагностичних параметрів...». Які параметри мають на увазі? І які гармоніки найбільше реагували під час проведення експерименту за даним методом?

3. Під час наукових досліджень за результатами отриманих вихідних даних в роботі пропонується цільова функція, але не зрозуміло – вона прагне до максимальної інформативності (max) чи мінімальних витрат на проведення вимірювань (min).

4. Оскільки в дисертації мова йде про діагностування трансформаторів, то проведення відповідних діагностичних заходів (вимірювань) має свою цінову політику, а економічні показники є важливими критеріями для енергорозподільних компаній України. На мій погляд, в роботі розкрито економічні показники не в повній мірі. В чому полягає економічна ефективність запропонованого комплексного підходу діагностування стану силових трансформаторів?

5. В висновках до розділу 3 наведено сформоване за отриманими алгоритмами оптимальне дерево рішень у вигляді рисунку, що є досить не звичним у розділі «Висновки...». Вважаю, доцільним було б навести рисунок по тексту безпосередньо в розділі 3.1, а у «Висновках...» сформулювати текстом (переліком).

6. У 4 розділі роботи виконано розрахунок впливу помилок першого та другого роду на результати вимірювань та оброблення отриманих значень, але не зрозуміло чи було визначено відносну похибку вимірювань.

7. Щодо загальної оцінки змісту, структури та оформлення результатів роботи. У роботі зустрічаються орфографічні, пунктуаційні та граматичні помилки, стилістичні неточності і описки (стор. 2, 4, 130...), але кількість їх допустима.

Зазначені недоліки і зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Грищука М.О., її наукову новизну і практичну цінність.

### ВИСНОВОК

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій запропоновано нове вирішення актуальної науково-прикладної задачі покращення якості експлуатації силових трансформаторів за рахунок їх комплексного діагностування в розподільних електричних мережах по яких передається електрична енергія від фотоелектричних станцій до споживачів..

Дисертаційна робота Грищука Максима Олександровича «Методи та засоби діагностування силових трансформаторів розподільних електричних мереж з фотоелектричними станціями» за своїм змістом відповідає вимогам п. 10, 11, 12 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (Постанови Кабінету Міністрів України №167 від 06 березня 2019 року), а її автор Грищук Максим Олександрович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

#### Офіційний опонент:

доцент кафедри передачі електричної енергії  
 Національного технічного університету  
 «Харківський політехнічний інститут»  
 доктор технічних наук, доцент



Підпис Вероніка ЧЕРКАШИНА  
 Свідчую:  
 АСВІДЧУЮ:  
 ІНІСІАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР  
 ЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
 РХІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"  
 Заковоротний О.Ю.  
 02" 11 20 20 р.