

РЕЦЕНЗІЯ

Рецензента ЧЕРКАШИНОЇ Вероніки Вікторівни
на дисертаційну роботу Пономаренка Сергія Григоровича
«Удосконалення методів діагностики стану трансформаторних масел в
обладнанні 110 - 330 кВ з урахуванням впливу режимів та умов
експлуатації», представлену на здобуття наукового ступеня доктора
філософії за спеціальністю 141 – Електротехніка, електроенергетика та
електромеханіка

Детальний розгляд та аналіз дисертаційної роботи Пономаренка Сергія Григоровича на тему «Удосконалення методів діагностики стану трансформаторних масел в обладнанні 110 - 330 кВ з урахуванням впливу режимів та умов експлуатації», що представлена для захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», дає змогу зробити комплексний висновок щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності та значимості отриманих результатів, наукової новизни, теоретичної та практичної цінності, надати загальну оцінку дисертації.

1. Актуальність теми

Забезпечення надійного та безперебійного постачання електричної енергії промисловим і побутовим споживачам є важливим завданням в умовах воєнного стану та після воєнного відновлення електроенергетичної галузі України. За таких умов слід зауважити, що однією із причин перерв у постачанні електричної енергії споживачам являється зношеність обладнання електричних мереж 110 – 330 кВ, в тому числі і силових трансформаторів. Основним елементом ізоляції яких являються трансформаторні масла. Вони з часом втрачають свої властивості, що може призвести до зниження електричної міцності і, як наслідок, аварійних ситуацій в електричних мережах 110 – 330 кВ. Існуюча система оцінювання стану трансформаторних масел дозволяє виявити їхню придатність для експлуатації, але не надає можливості виконати ранжування масла придатного до експлуатації за його реальним станом, що ускладнює планування технічного обслуговування. А,

як відомо, вчасне обслуговування силових трансформаторів під час експлуатації являється діючою стратегією щодо запобігання аварійних ситуацій в електричних мережах. Таким чином, враховуючи вищенаведене, удосконалення методів діагностики стану трансформаторних масел для обладнання напругою 110-330 кВ являється електроенергетичної галузі України актуальним і практично значимим завданням, розв'язання якого дозволить підвищити експлуатаційну надійність електричних мереж.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота Пономаренка С.Г. виконувалась на кафедрі «Передача електричної енергії» (ПЕЕ) Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ») відповідно до освітньо-наукової програми 141 «Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка». Виконання дисертаційних досліджень базувалося на детальному вивченні та аналізі відомих методів, теорій і практичних аспектів, пов'язаних із зазначеною науковою програмою.

Дисертаційні дослідження проводилися в рамках ініціативної науково-дослідної роботи «Удосконалення методів діагностики стану маслонаповненого високовольтного обладнання електричних мереж» (№ ДР 0121U109404, 2021–2022 р.р.), в якій здобувач був відповідальним виконавцем, та діючої держбюджетної науково-дослідної роботи за планом МОН України «Забезпечення стійкого, надійного та ефективного енергопостачання районів міст постраждалих внаслідок бойових дій» (№ ДР 0123U100244, 2023–2025 рр.), в якій здобувач являється виконавцем окремих розділів.

Дисертаційна робота Пономаренка С.Г. відповідає Енергетичній стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» (ЕСУ-2035), Закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», Закону України «Про електроенергетику».

3. Наукова новизна одержаних результатів

Дисертаційна робота Пономаренка С.Г. містить наукову новизну, з найбільш суттєвих доробок автора можна виділити наступні:

- вперше встановлено та науково обґрунтовано, що значення параметрів трансформаторних масел, як придатних так і не придатних до подальшої експлуатації, розподіляються згідно з законом Вейбулу, що дозволило виявити вплив режимів та умов експлуатації обладнання на значення параметрів трансформаторних масел і обумовило необхідність їх урахування під час корегування граничних значень показників масел;

- вперше науково обґрунтовано використання граничних значень показників трансформаторних масел, які визначаються мінімізацією функції середнього ризику для одномірних розподілів, з урахуванням режимів експлуатації трансформаторів та автотрансформаторів напругою 110-330 кВ, що дозволило для трансформаторів 110 кВ знизити ризики в 1,05-37,2 рази, а для автотрансформаторів 330 кВ в 1,8-4974419,5 разів порівняно з ризиками, які супроводжують використання граничних значень регламентованих в діючому в Україні нормативному документі;

- вперше запропоновано метод для корегування граничних значень показників трансформаторних масел за комплексом діагностичних ознак з урахуванням особливостей процесу старіння трансформаторних масел, а також режимів та умов експлуатації трансформаторів 110 кВ та автотрансформаторів 330 кВ, який відрізняється від існуючих тим, що граничні значення показників масел визначаються за рахунок мінімізації функції середнього ризику для багатомірних розподілів показників і мають стохастичний зв'язок, що дозволить знизити ризики в 1,7-35,7 рази для трансформаторів 110 кВ, а для автотрансформаторів 330 кВ в 8-84,4 разів порівняно з ризиками, які супроводжують використання граничних значень регламентованих в діючому в Україні нормативному документі;

- отримав подальший розвиток метод визначення характеру залежностей показників трансформаторних масел, який відрізняється урахуванням тривалості експлуатації, що дозволило встановити, що в

автотрансформаторах 330 кВ значення показників у часі змінюються нелінійно, а характер залежностей окремих показників співпадає з кінетичними кривими окислювання;

- вперше за комплексом діагностичних ознак з урахуванням умов та режимів експлуатації обладнання розроблено модель множинної регресії для ранньої діагностики стану трансформаторних масел, яка, на відміну від існуючих, дозволяє виявляти обладнання з прискореним старінням масел ще в той момент часу коли значення їхніх показників знаходяться в межах, які відповідають нормальному стану.

4. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Дисертаційна робота Пономаренка С.Г. містить як в теоретичному, так і в практичному плані нові рішення, які визначаються тим, що в:

- службі ізоляції та грозозахисту АТ «Харківобленерго» в якості додаткових критеріїв під час оцінювання стану трансформаторних масел використовуються варіативні граничні значення показників трансформаторних масел, які отримано і науково обґрунтовано в дисертаційній роботі;

- науковій діяльності кафедри ПЕЕ НТУ «ХП» під час дослідження процесів старіння ізоляції високовольтного обладнання електричних мереж використовується зроблена Пономаренко С.Г. методика для формування еталонних траєкторій показників ізоляції в умовах обмеженої апріорної інформації використовується;

- вигляді окремих модулів інформаційно-аналітичної системи «СИРЕНА», яка в даний час розробляється на кафедрі ПЕЕ НТУ «ХП», програмно реалізовані розроблені Пономаренко С.Г. методи діагностики стану трансформаторних масел;

- навчальному процесі кафедри ПЕЕ НТУ «ХП» під час вивчення освітніх компонентах: «Техніка високих напруг», «Математичні основи

технічної діагностики» та «Математичні задачі енергетики» використовуються отримані в дисертаційній роботі результати.

5. Повнота викладення матеріалів дисертації в наукових працях, які опубліковані автором.

Основний зміст дисертаційної роботи відображено у 41 науковій публікації, з яких 7 статей у наукових фахових виданнях України, з них 1 стаття включена до і наукометричної бази Scopus; 2 статті в іноземних виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та Web of Science; 32 публікації у матеріалах конференцій, з яких 8 публікацій проіндексовано у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science.

Зазначене вище дозволяє стверджувати, що представлена дисертаційна робота Пономаренка С.Г. є самостійним, завершеним науковим дослідженням, результати якого мають значення для електроенергетичної галузі України.

6. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Дисертаційна робота Пономаренка С.Г. є завершеною науковою роботою, містить анотацію – українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел із 128 найменувань та 11 додатків.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню завдання по удосконаленню методів та критеріїв для оцінювання стану трансформаторних масел з урахуванням тривалості та режимів експлуатації трансформаторів напругою 110 кВ та автотрансформаторів напругою 330 кВ.

Об'єкт дослідження – процеси старіння трансформаторних масел у баках трансформаторів та автотрансформаторів 110-330 кВ з урахуванням режимів та тривалості експлуатації.

Предмет досліджень – параметри масел, які характеризують його стан, в баках трансформаторів та автотрансформаторів 110-330 кВ, що експлуатуються в різних режимах.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету і завдання дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, наведено відомості про наукову новизну, практичне значення, апробацію результатів та публікації.

У першому розділі виконано аналіз експлуатаційної надійності високовольтних силових трансформаторів і автотрансформаторів, які експлуатуються в електричних мережах України. Розглянуто основні причини ушкодження трансформаторів та автотрансформаторів, а також проаналізовано вплив трансформаторних масел на надійність цього обладнання. Проаналізовано методи та критерії, які використовуються для оцінювання технічного стану трансформаторних масел, як в Україні так і за її межами. Проаналізовано основні напрямки удосконалення методів оцінювання технічного стану обладнання, які застосовуються закордонними дослідниками. За результатами аналізу, виконаними в розділі, сформовано основні напрямки досліджень.

У другому розділі розроблено методи для коригування граничних значень показників трансформаторних масел. Виконано дослідження законів розподілу показників трансформаторних масел для силових трансформаторів напругою 110 кВ і автотрансформаторів напругою 330 кВ. Встановлено, що, як для придатних так й не придатних до подальшої експлуатації трансформаторних масел, значення показників мають розподіл Вейбула. Виконаний у розділі подальший аналіз показав, що щільності розподілу показників для трансформаторних масел з різним станом перетинаються, що свідчить про те, що корегування граничних значень показників масел можливо тільки з використанням методів статистичних рішень. За результатами порівняльного аналізу ймовірностей вірних та хибних рішень, а також значень ризиків, які супроводжують використання граничних значень отриманих: методом інтегральних функцій (виживання); методом

мінімальної кількості хибних рішень; методом мінімального ризику; методом Неймана Пірсона встановлено, що найбільш оптимальним методом корегування являється метод мінімального ризику. Також у розділі визначено граничні значення показників масел для одновірних розподілів з урахуванням режимів та тривалості експлуатації і встановлено, що використання цих значень дозволяє знизити можливі ризики 1,05 - 4974419,5 разів порівняно з ризиками, які супроводжують використання граничних значень регламентованих в діючому в Україні нормативному документі. Для урахування фізичних особливостей старіння масел у розділі запропоновано корегувати граничні значення показників масел одночасно для декількох діагностичних ознак. Для цього проаналізовано стохастичний зв'язок між показниками масел і розроблено функцію середнього ризику для двовірних та трьохвірних розподілів показників, які мають стохастичний зв'язок. Представлена у розділі мінімізація розроблених функцій методом Нелдера-Міда дозволила отримати граничні значення показників трансформаторних масел, використання яких призведе до зниження ризиків в 1,7-84,4 разів порівняно з ризиками, які супроводжують використання граничних значень регламентованих в діючому в Україні нормативному документі.

У *третьому розділі* розроблено метод для ранньої діагностики стану трансформаторних масел, який базується на використанні варіативних граничних значень показників. За результатами коваріаційного аналізу показників трансформаторних масел та тривалості експлуатації силового обладнання встановлено наявність систематичної складової в часових залежностях показників за умови того, що швидкість дрейфу одного й того ж показника в залежності від режимів та умов експлуатації у різних автотрансформаторах суттєво відрізняється. Для врахування відмінностей в інтенсивності старіння масел розроблено процедуру формування еталонних масивів показників масел в умовах обмеженої апіорної інформації. Результати двофакторного дисперсійного аналізу показників масел у сформованих еталонних масивах свідчать щодо наявності значного впливу режимів та тривалості експлуатації на значення показників масел. За

результатами дисперсійного аналізу на відхилення від лінійності часових залежностей показників трансформаторних масел встановлено, що зміна значень показників в часі відбувається з різною швидкістю, тобто залежності є нелінійними. Для ранньої діагностики стану трансформаторних масел з урахуванням впливу режимів та тривалості експлуатації, а також нелінійного характеру зміни показників масел в часі, у розділі розроблено метод варіативних граничних значень показників.

У четвертому розділі за комплексом діагностичних ознак розроблено метод для ранньої діагностики стану трансформаторних масел. Запропоновано модель множинної регресії, в якій тривалість експлуатації являється функцією значень показників трансформаторних масел. Також у розділі за комплексом діагностичних ознак розроблено процедуру навчання регресійної моделі для ранньої діагностики стану трансформаторних масел. Сформовано вирішальне правило згідно з яким приймається рішення щодо стану трансформаторних масел. Для врахування впливу режимів експлуатації, а також сорту та якості трансформаторних масел на інтенсивність процесів старіння, запропоновано використовувати групу моделей навчених по значенням показників автотрансформаторів, які експлуатуються в різних умовах. Виконано навчання та доведено адекватність 4 моделей для автотрансформаторів напругою 330 кВ. За результатами аналізу встановлено, що похибка, яка виникає під час діагностики стану трансформаторних масел, знаходиться в межах 0,327-0,407 року.

Висновки, сформульовані у дисертаційній роботі, висвітлюють результати дослідження як вирішення висунутих в дисертації завдань. В цілому висновки відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Список використаних джерел із 128 найменувань достатньо охоплює предметне поле дослідження і певною мірою відображає опрацювання автором значної кількості іноземних та вітчизняних інформаційних джерел.

У додатках приведено результати розрахунків та аналізу за темою дисертаційних досліджень; документи про впровадження результатів дисертаційної роботи; список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертаційних досліджень.

7. Достовірність отриманих результатів та висновків

Достовірність отриманих результатів у дисертаційній роботі Пономаренка С.Г. забезпечується коректністю постановок математичних задач, застосуванням фундаментальних положень теорії ймовірності та математичної статистики; елементів теорії перевірки статистичних гіпотез; теорії технічної діагностики. Математична обробка результатів виконувалася з використанням сучасного прикладного програмного забезпечення. Наукові положення підтверджуються коректним використанням методів дослідження та впровадженням в енергорозподільну компанію, що свідчить про достовірність одержаних результатів.

Також слід зазначити, що публікації за темою дисертаційних досліджень, які включені до міжнародних наукометричних баз даних, сприяють підтримці достовірності результатів та висновків проведених досліджень.

8. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях

Стиль викладення матеріалу в дисертації достатньо зрозумілий для сприйняття. Дисертація містить наукові положення, які характеризуються новизною, а також практичні результати, які знайшли застосування в енергорозподільній компанії АК «Харівобленерго», та використовуються в навчальному процесі кафедри ПЕЕ НТУ «ХПІ». Рівень досліджень та глибина розгляду питань відповідає вимогам, які висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дисертаційна робота Пономаренка С.Г. виконана з дотримання вимог

академічної доброчесності, отримані результати дають підстави говорити про оригінальність роботи. У тексті містяться авторські ідеї, і не виявлено використання ідей інших науковців без посилання на їхні роботи.

Основні ідеї автора та результати дослідження викладено в: 7 наукових фахових статтях, з яких 1 статтю включено і до наукометричної бази Scopus; 2 статтях в іноземних виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та Web of Science. Здобувач активно приймав участь в українських та закордонних конференціях, де була проведена апробація ідей, які викладено у дисертаційному дослідженні і підтверджено 32 науковими публікаціями у матеріалах конференцій, з яких 8 проіндексовані у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science.

9. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У вступі дисертаційної роботи (стор. 9) в описі методів дослідження вказано, що здобувачем використовувалися розроблені ним програми, але не конкретизовано які саме. Далі по тексту (стор. 11) сказано, що здобувачем розроблено окремі модулі інформаційно-аналітичної системи «СИРЕНА». То що було розроблено здобувачем програми чи окремі модулі?

2. В першому розділі дисертаційної роботи (стор. 18, р. 1.3 «Порівняльний аналіз методів оцінки...») наведено аналіз показників стану трансформаторних масел відповідно діючій нормативній документації, але відсутня інформація щодо методів за допомогою яких виконано порівняльний аналіз.

3. Під час аналізу граничних значень показників стану трансформаторних масел (стор. 19, п.5) здобувач зазначає, що за однакових умов граничні показники пробивної напруги, які регламентовані різними стандартами, нормуються різними значеннями і не зрозуміло, як ці відмінності впливають на експлуатаційну надійність електричних мереж. Тим паче, що у розділі 2.3 здобувач визначає цей показник різними методами статистичних рішень.

4. З тексту дисертації (стор. 31) не зрозуміло, чому здобувач вважає, що ототожнення типових значень показників ізоляції з граничними являється помилковим.

5. В другому розділі дисертаційної роботи для оброблення результатів випробувань стану трансформаторних масел (стор. 38) здобувач застосовує критерій Ірвіна. Чому саме цей критерій, а не інші, наприклад, критерій Шапіро-Вілка?

6. На стор. 39 (р. 2.1) здобувач зазначає, що «... для кожного з цих 11 законів розподілу виконується аналіз..», але не висвітлені позитивні та негативні аспекти використання цих законів. Тому не зрозуміло, чому саме автор використав закон Вейбулла?

7. Як слідує з тексту дисертаційної роботи (стор. 115), частина інформації про стан трансформаторного масла не завжди доступна для дослідника, тобто існує неповнота вихідної інформації. Тому, не зрозуміло яким чином здобувач враховує неповноту вихідної інформації в дослідженнях?

8. У третьому розділі дисертаційної роботи (стор. 93) під час дослідження впливу тривалості та режимів експлуатації трансформаторів на характер часових залежностей показників трансформаторних масел здобувач доводить, що залежності показників є нелінійними, а в четвертому розділі він використовує лінійну модель множинної регресії. Наскільки коректним є використання лінійних моделей?

9. З тексту дисертаційної роботи (стор. 145. р.4.5) не зрозуміло, який саме принцип використовував здобувач для навчання регресійних моделей?

10. Щодо загальної оцінки змісту, структури та оформлення результатів роботи. У першому розділі (стор. 28) наявне повторення мети і задач дослідження, які вже наведено у вступі (стор. 8). По тексту дисертаційної роботи зустрічаються не доцільні пропуски рядків. «Додатки» дисертаційної роботи перевантажені інформацією щодо автотрансформаторів напругою 330 кВ. Також у роботі зустрічаються граматичні помилки, не закінчені речення, стилістичні неточності і описки (стор. 3, 28, 137, 145, 149, 150, 154),

але кількість їх допустима.

Зазначені недоліки і зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Пономаренка С.Г., її наукову новизну і практичну цінність.

10. Висновки

Дисертаційна робота Пономаренка Сергія Григоровича є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну та дає перспективи подальших досліджень. Тема дослідження відповідає галузі знань 14 – «Електрична інженерія» та спеціальності 141 – «Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка».

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та наявну практичну значимість вважаю, що дисертаційна робота Пономаренка Сергія Григоровича «Удосконалення методів діагностики стану трансформаторних масел в обладнанні 110 - 330 кВ з урахуванням впливу режимів та умов експлуатації» відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сам здобувач, Пономаренко Сергій Григорович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 «Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка».

Рецензент

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

Вероніка ЧЕРКАШИНА



ЗАЙЦЕВ Ю.І.