

ВІДГУК

офіційного опонента

КРИВОНОСОВА Валерія Єгоровича

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

Актуальність теми

Забезпечення надійного та неперервного постачання електроенергії для промислових та побутових споживачів стає важливим аспектом у сучасному світі, особливо в умовах викликів, які ставлять перед суспільством воєнні дії та відновлення після них. Поліпшення якості електропостачання стає ключовим фактором для забезпечення не лише технічного комфорту, але й стратегічного функціонування інших сфер життя. Необхідно визнати, що розвиток та сучасна технологізація суспільства обумовлюють постійне зростання попиту на енергію. У цьому контексті трансформатори та автотрансформатори вирішують важливе завдання підтримки стабільності та безперебійності енергопостачання. Їхні функції стають критичними для забезпечення надійної роботи енергетичної системи в умовах змінюючогося попиту та технологічних викликів. Усе це підкреслює важливість трансформаторів та автотрансформаторів у забезпеченні стабільності та неперервності енергопостачання. Їх роль в цьому контексті не тільки ключова, але й визначальна для подолання викликів, які ставляться перед сучасним енергетичним сектором. Такі технічні рішення відіграють важливу роль у забезпеченні життєво важливих завдань, сприяючи сталому розвитку та процвітанню суспільства.

Енергопостачання в Україні переживає труднощі через перебої у подачі електроенергії, спричинені передусім старінням та зношеністю обладнання електричних мереж. Лише 17,8% автотрансформаторів з напругою 330 кВ, що працюють в українських електричних мережах, експлуатуються відповідно до нормативного терміну служби, тоді як 12,1% з них функціонують понад 40 років. Не

менш важливою проблемою є внутрішні короткі замикання, що є однією з головних причин пошкодження цього обладнання. Надто інтенсивне використання, зношеність можуть серйозно підірвати надійність енергозабезпечення країни. Розв'язання цих проблем передбачає комплексний підхід, який включає в себе модернізацію та технічне обслуговування існуючого обладнання. Тільки таким чином можна забезпечити стабільне та неперервне енергопостачання для населення та промисловості країни. Трансформаторне масло, що відіграє невід'ємну роль у забезпеченні ефективної роботи високовольтних силових трансформаторів та автотрансформаторів, може призвести до суттєвих змін в ізоляційних характеристиках, наслідком чого стають серйозні проблеми. Цей неперервний процес може викликати зменшення залишкового ресурсу трансформатора та збільшення ризику аварійного пошкодження обладнання через внутрішні короткі замикання. З метою збереження ефективності трансформаторного масла та продовження терміну його служби, надзвичайно важливо вживати заходи щодо системного моніторингу та компетентного обслуговування масла. Тільки таким чином можна забезпечити надійність та довговічність роботи електроенергетичного обладнання, зберігаючи високий стандарт енергозабезпечення.

Існуюча система оцінки стану трансформаторних масел, що аналізується міжнародними та національними стандартами, відіграє невід'ємну роль у забезпеченні надійності та тривалості експлуатації трансформаторного обладнання. Цей важливий інструмент не лише визначає відповідність масел стандартам, але й гарантує їхню здатність забезпечити безперебійну роботу устаткування. Однак, не дивлячись на важливість цього інструменту, існують аспекти, які потребують уваги. Зокрема, існуюча система оцінки не забезпечує повної інформації щодо реального технічного стану масла. Такий підхід обмежує можливість точної оцінки залишкового ресурсу масла та потенційних ризиків. Сучасний підхід повинен враховувати, що просте визначення придатності до експлуатації не завжди відображає повну картину технічного стану масла та його можливості продовжити безпечне функціонування. Стратегія обслуговування, базована лише на факторі придатності, може привести до упущення важливих деталей щодо актуального стану трансформаторного обладнання. Урахування того, що технічний стан масла може

змінюватися залежно від тривалості та режимів експлуатації обладнання, підкреслює необхідність розширення системи оцінки, щоб врахувати ці динамічні аспекти. Практичний підхід до аналізу цих факторів сприяє розробці більш глибокої та комплексної системи оцінки стану трансформаторних масел. Такий підхід дозволяє не лише визначати придатність, але й точно враховувати технічний стан, що забезпечує більш ефективне та прогнозоване технічне обслуговування обладнання.

У сучасних умовах постійного розвитку електроенергетики і важливості трансформаторів і автотрансформаторів з напругою 110-330 кВ, удосконалення методів діагностики стану трансформаторних масел стає ключовим завданням. Це обумовлено їхнім визначальним значенням у функціонуванні електроенергетичних пристроїв. Стратегічне вирішення цього завдання відкриває широкі перспективи для підвищення технічного стану трансформаторів і автотрансформаторів, призводячи до загального підвищення надійності електроенергетичних систем. Зараз стає важливим акцентувати увагу на вдосконаленні ефективних методів діагностики, оскільки це сприятиме підвищенню експлуатаційної надійності та тривалості служби обладнання електричних мереж. Впровадження передових технологій у цій області не тільки дозволить вчасно виявляти потенційні проблеми, але також забезпечить можливість їх передбачення та ефективне усунення, визначаючи істотний етап у забезпеченні безперебійності електропостачання. Дослідження та розвиток нових методів діагностики трансформаторних масел в трансформаторах і автотрансформаторах не лише відзначаються здатністю впливати на поточний стан обладнання, але також формують стратегію забезпечення стабільності та ефективності енергетичних систем у діапазоні напруг 110-330 кВ. Це підкреслює актуальність і важливість таких досліджень в контексті сучасних вимог до енергетики.

Дисертаційне дослідження проводилося на кафедрі передачі електричної енергії НТУ «ХПІ» відповідно до ініціативної науково-дослідної роботи «Удосконалення методів діагностики стану маслонаповненого високовольтного обладнання електричних мереж» (№ ДР 0121U109404, 2021–2022 рр.), у якій здобувач був відповідальним виконавцем. Основні наукові результати дисертаційної

роботи використовуються при виконанні наукових досліджень в рамках 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.), де здобувач є виконавцем окремих розділів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Пономаренка Сергія Григоровича, в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на використанні математичного апарату теорії ймовірності та математичної статистики, дисперсійного, кореляційного і спектрального аналізу, методів математичного моделювання з використанням ліцензійного програмного забезпечення.

Дослідження виконані з використанням математичного апарату та сучасного комп'ютерного моделювання. Результати перевірені шляхом проведення практичних експериментів, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність теоретичних аспектів, проведених Сергієм Григоровичем Пономаренком, не лише обґрунтовано, але й підкріплено результатами, отриманими під час практичного застосування в робочих умовах. Ця взаємодія між теорією та практикою виражається у вагомості та практичній значущості розроблених методів та підходів. Наукові положення, висновки та рекомендації, представлені у дисертаційній роботі випробувані в реальних умовах. Цей підхід не лише віддзеркалює практичну застосованість вивчених концепцій. Є факт, що отримані наукові результати вже допомогли у вдосконаленні діагностики високовольтних трансформаторів в енергетичній компанії "Харківобленерго". Практична експлуатація розроблених методик та технологій свідчить не лише про їхню

теоретичну обґрунтованість, але і про високий ступінь їхньої ефективності у реальних умовах електроенергетичного виробництва.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

1 Вперше встановлено та науково обґрунтовано що значення параметрів трансформаторних масел, як придатних так і не придатних до подальшої експлуатації, розподілені згідно з законом Вейбулу, при цьому встановлено значущий вплив режимів та умов експлуатації обладнання на значення цих параметрів, що обумовлює необхідність їх урахування при корегуванні граничних значень показників масел;

2 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 ризику в 1,05-37,2 рази, а для автотрансформаторів 330 кВ в 1,8-4974419,5 разів порівняно з ризиками, що супроводжують використання граничних значень регламентованих в діючому в Україні нормативному документі;

3 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, що мають значущий стохастичний зв'язок, що дозволить знизити ризику в 1,7-35,7 рази для трансформаторів 110 кВ, а для автотрансформаторів 330 кВ в 8-84,4 разів порівняно з ризиками, що супроводжують використання граничних значень регламентованих в діючому в Україні нормативному документі;

4 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;

5 Вперше розроблено модель множинної регресії для ранньої діагностики стану трансформаторних масел, за комплексом діагностичних ознак, з урахуванням умов та режимів експлуатації обладнання, що на відміну від існуючих дозволяє виявляти обладнання з прискореним старінням масел, ще в той момент часу коли значення показників знаходяться в області що відповідають нормальному стану. Встановлено що похибка оцінки навчених моделей знаходиться в межах 0,327-0,407 року.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Практична цінність полягає у використанні результатів досліджень:

1) Отримані та науково обґрунтовані варіативні граничні значення показників масел, які змінюються в залежності від тривалості та режимів експлуатації трансформаторів, використовуються в якості додаткових критеріїв при оцінці стану трансформаторних масел в рамках проведення періодичних випробувань службою ізоляції та грозозахисту АТ «Харківобленерго»;

2) Розроблена методика для формування еталонних траєкторій показників ізоляції в умовах обмеженої апріорної інформації використовується в науковій діяльності кафедри передачі електроенергії НТУ «ХПІ» при дослідженні процесів старіння ізоляції високовольтного обладнання електричних мереж;

3) Розроблені методи діагностики стану трансформаторних масел, програмно реалізовані в вигляді окремих модулів інформаційно-аналітичної системи «СИРЕНА», яка на даний час розробляється на кафедрі «Передача електричної енергії» НТУ «ХПІ»;

4) Отримані в роботі результати використовуються у навчальному процесі на кафедрі «Передача електричної енергії» в освітніх компонентах: «Техніка високих напруг», «Математичні основи технічної діагностики» та «Математичні задачі енергетики» за освітньою програмою «Електроенергетика», освітньою-науковими програмами «Електроенергетика» та «Комп'ютерні інформаційні технології цифрової трансформації енергетики» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

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

Опубліковані матеріали в повній мірі відображають ключовий зміст дисертації та відповідають всім вимогам, визначеним в Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44. Це свідчить про високий рівень якісної підготовки та наукової значущості представленої дисертаційної роботи.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Пономаренка Сергія Григоровича складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, 11 додатків.

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

У першому розділі досліджено експлуатаційну надійність високовольтних трансформаторів та автотрансформаторів в електричних мережах. Розглянуті причини їхнього ушкодження та вплив трансформаторних масел. Проаналізовані методи оцінки технічного стану трансформаторних масел в Україні та за її межами, а також розглянуті основні напрямки удосконалення методів оцінки технічного стану високовольтного обладнання. Результатом аналізу є визначення основних напрямків подальших досліджень.

У другому розділі розроблено методи коригування граничних значень показників трансформаторних масел для силових трансформаторів і автотрансформаторів напругою 110 кВ та 330 кВ. Досліджено закони розподілу показників масел, визначено, що вони мають розподіл Вейбула. Проведено аналіз,

який підтвердив можливість корегування граничних значень показників масел за допомогою методів статистичних рішень. За результатами порівняльного аналізу методів коригування, визначено, що найбільш оптимальним є метод мінімального ризику. Встановлені граничні значення показників масел для одномірних розподілів з урахуванням режимів та тривалості експлуатації, що дозволяє значно знизити можливі ризики порівняно з регламентованими нормами. Також запропоновано коригування граничних значень показників масел, враховуючи фізичні особливості старіння, одночасно для декількох діагностичних ознак. Розроблено функцію середнього ризику для взаємопов'язаних показників. Мінімізація цих функцій дозволила отримати граничні значення, що суттєво зменшують ризики порівняно з нормами, діючими в Україні.

У третьому розділі розроблено метод для ранньої діагностики стану трансформаторних масел, що базується на використанні варіативних граничних значень показників. За результатами коваріаційного аналізу показників масел та тривалості експлуатації встановлено наявність значущої систематичної складової в часових залежностях показників. При цьому швидкість дрейфу одного й того ж показника в різних автотрансформаторах суттєво відрізняється, в залежності від режимів та умов експлуатації, а також якості масел. Для врахування відмінностей в інтенсивності старіння масел, розроблено процедуру для формування еталонних масивів показників масел, в умовах обмеженої апріорної інформації. Результати двофакторного дисперсійного аналізу показників масел з сформованих еталонних масивів, свідчать щодо наявності значущого 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 розроблено метод варіативних граничних значень показників.

У четвертому розділі розроблено метод для ранньої діагностики стану трансформаторних масел, за комплексом діагностичних ознак. Запропоновано

модель множинної регресії в якій тривалість експлуатації є функцією значень показників трансформаторних масел. Розроблено процедуру навчання регресійної моделі, для ранньої діагностики стану трансформаторних масел, за комплексом діагностичних ознак. Сформовано вирішальне правило згідно з яким приймається рішення щодо стану трансформаторних масел. Для урахування впливу режимів експлуатації, а також сорту та якості трансформаторних масел на інтенсивність процесів старіння, запропоновано використовувати групу моделей навчених по значенням показників автотрансформаторів що експлуатуються в різних умовах. Виконано навчання та доведено адекватність 4 моделей для автотрансформаторів напругою 330 кВ.

Висновки, які були сформульовані до розділів та на основі отриманих результатів у цій дисертаційній роботі, є чіткими та відповідністю загальному змісту дослідження. Кожен висновок підкреслює важливість та наукову обґрунтованість отриманих результатів, враховуючи широкий контекст представленої теми.

Список використаних джерел, що містить 128 найменувань, представляється вельми повним та різноманітним. Він включає як вітчизняні, так і зарубіжні публікації, що свідчить про глибокий огляд літератури та широкий погляд автора на проблему дослідження.

Анотація, представлена в роботі, відзначається тим, що вона чітко та повно відображає основний зміст дисертації. У ній чітко висвітлені наукові результати та вказана практична цінність проведених досліджень.

Академічна доброчесність

Важливо відзначити, що жодних порушень академічної доброчесності не виявлено. Здобувач строго дотримувався принципів наукової етики та виявив високий ступінь оригінальності у представленні своїх результатів.

Всі наукові висновки та результати, представлені для захисту, були отримані власноруч і самостійно автором. У опублікованих роботах в співавторстві він обмежувався використанням лише тих ідей, положень та розрахунків, які відображають його особистий внесок у наукові пошуки. Це підтверджує високий стандарт авторської відповідальності та дотримання наукових стандартів в процесі досліджень.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. В першому розділі дисертаційної роботи автор надає значної уваги порівняльному аналізу методів оцінки стану трансформаторних масел. Мені здається, що доцільнішим було б навести аналіз стану проблем пов'язаних з дослідженнями старіння трансформаторних масел;

2. Під час формування груп трансформаторів з однаковою швидкістю дрейфу показників, здобувач використовує критерій максимуму кореляційного відношення, для обчислення якого створено спеціальну програму. Чи не було б простіше використовувати величину коефіцієнту парної кореляції, яка також надає інформацію про статистичні зв'язки, але при цьому є менш складною при розрахунках?

3. У третьому розділі здобувач приводить результати двофакторного перехресного дисперсійного аналізу. Однак з тексту роботи не випливає чітке пояснення того, яким чином виникає неадитивність ефектів при зміні рівня факторів.

4. Якщо використовується метод оцінки стану трансформаторних масел з використанням варіативних значень показників, то з опису не зрозуміло, яке конкретне рішення слід приймати у випадку, коли діагностичні відстані між двома границями є однаковими.

5. Під час аналізу структури та матеріалу дисертаційної роботи виявлено деякі невеликі недоліки у її оформленні. Зокрема, можна відзначити дрібні друкарські, пунктуаційні та стилістичні неточності, які, за умови їх виправлення, сприятимуть кращому сприйняттю тексту.

При виявленні недоліків, важливо відзначити, що вони не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація заслуговує визнання за свою актуальність, високу наукову цінність та практичну значущість. Її тема є важливою та актуальною в сучасному науковому середовищі, а отримані результати вносять вагомий вклад у відповідну наукову галузь. Важливо враховувати, що в процесі наукової роботи можуть виникати дрібні недоліки, які не тільки є невід'ємною частиною дослідницького процесу, але і надають можливість для б.

подальшого вдосконалення та розвитку наукового доробку. Отже, незважаючи на зазначені відхилення, дисертація має всі передумови для успішної захисту та визнання свого наукового внеску в відповідну галузь знань.

ВИСНОВОК

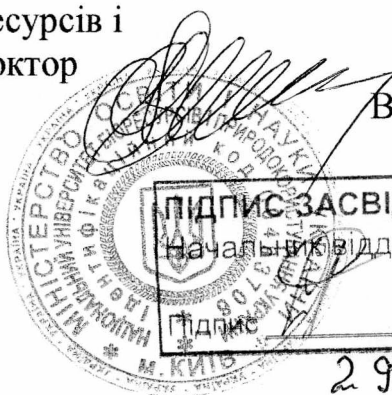
Дисертаційна робота Пономаренка Сергія Григорович «Удосконалення методів діагностики стану трансформаторних масел в обладнанні 110–330 кВ з урахуванням впливу режимів та умов експлуатації» за своїм змістом відповідає спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу, яка полягає в удосконаленні методів діагностики стану трансформаторних масел в обладнанні 110–330 кВ з урахуванням впливу режимів та умов експлуатації.

Подана дисертаційна робота «Удосконалення методів діагностики стану трансформаторних масел в обладнанні 110–330 кВ з урахуванням впливу режимів та умов експлуатації» Пономаренка Сергія Григоровича відповідає спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Пономаренко Сергій Григорович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент

Професор кафедри інженерії енергосистем
Навчально-наукового інституту енергетики,
автоматики і енергозбереження
Національного університету біоресурсів і
природокористування України, доктор
технічних наук, професор

Валерій КРИВОНОСОВ



ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ

Начальник відділу кадрів

Підпис

С.ГРИЩЕНКО

29.01.2024 р.