МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ТА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

**ДІДУХ ВОЛОДИМИР ВІКТОРОВИЧ**

УДК 621.315.337.4

**АНАЛІЗ ТА ВИБІР МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ**

**ОБМОТОК ВИСОКОВОЛЬТНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ**

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль

2018

Роботу виконано на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя міністерства освіти і науки України.

**Керівник роботи:** доктор технічних наук, професор кафедри електричної інженерії

**Євтух Петро Сильвестрович**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Рецензент:** кандидат технічних наук, старший викладач

кафедри фізики

**Сіткар Оксана Андріївна**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 27 грудня 2018 року о 1400 годині на засіданні екзаменаційної комісії №36 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46018, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, навчальний корпус №7, ауд. 310.

**ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ**

**Актуальність теми.** Ізоляційні конструкції електричних машин і апаратів визначають надійність в експлуатації цих електроустановок. Їх основою є активні провідникові елементи - виткові елементи, посередністю яких в електромагнітну систему електроустановки постачається електроенергія. Конструктивно виткові елементи складаються з провідників й комбінованого ізоляційного шару, що складається з просочених діелектриків. Типовий провідниковий елемент має на зовнішній поверхні шар полімерної емалі, яка забезпечує стійкість виткового елемента в ізоляційній конструкції електроустановки.

Основними якісними показниками лакового шару емальізоляції провідника є напруга пробою та температуростійквсть (довготривала й короткотривала). Очевидно, що при заданому типі полімеру якість шару ізоляції визначається її рівномірністю й однорідністю, яка, в свою чергу, може бути порушена як на стадії нанесення, виготовлення виткового елемента, так і в процесі експлуатації.

Працездатність ізоляційних конструкцій електротехнічних пристроїв з витковими елементами на основі емальованих обмотувальних проводів є одним із визначальних чинників їх безаварійного функціонування. Однак, як видно з досліджень Гурина А. Г., Щебенюк Л. А., Голик О. В. , Антонця Ю. А. при існуючих технологіях нанесення лакового шару ізоляції не існує емальованих проводів без поздовжньої неоднорідності чи прихованих дефектів, які можуть під впливом ряду факторів активізуватись і спричинити аварійний стан під час експлуатації вже готових виробів. Постає завдання передаварійного прогнозування можливого негативного впливу прихованих дефектів як перед використанням емальованих проводів у виткових елементах, так і в процесі експлуатації електроустановок.

Методики випробувань цієї ізоляції ґрунтуються на встановленні деякого рівня перевищення напруги пробою та недопущенні перевищення кількості точкових пошкоджень над зафіксованими нормованими значеннями подібно до широко застосовуваних виробниками емальованих проводів стандартів. При цьому, ізоляція апріорі вважається настільки лінійно однорідною, що рівень напруги пробою на суттєво обмеженій кількості зразків характеризує доволі значну в об’ємі лінійно–розповсюджену технологічну одиницю емальованого проводу.

Однак, згідно результатів досліджень Пєшкова І. Б., Матяліса А. П., Муравльова О. П., Стрєльбіцкого Е. К., Похолкова Ю. П., Дудкіна А. Н. реальна ізоляція емальованого проводу має нерівномірність товщини плівки як по довжині (хвилястість), так і по колу провідника (напливи) внаслідок відмінностей від оптимального крайового кута змочування рідкого діелектрика при емалюванні, неоднорідність через наявність в товщі діелектрика включень повітря або інших газів, в результаті чого в цих дефектних місцях зменшується напруга пробою ізоляції, різко зростає напруженість електричного поля і виникають «часткові розряди», які також послаблюють ізоляцію.

Ситуація ускладнюється ще й тим, що при виготовленні виробів з емальованих обмотувальних проводів існує негативний вплив на їх ізоляцію технологічних чинників, особливо значний при машинному виготовленні виткових елементів, підтверджений численними дослідженнями Євтуха П. С., Вакуленка О. О.

Незважаючи на значний обсяг робіт, проведений такими дослідниками як Мар’їн С. С., Похолков Ю. П., Муравльов О. П., Леонов А. П., Коробцов А. А., Дудкін А. Н., Супуєва А. С., Шпет Н. А. актуальною залишається тематика робіт щодо прогнозування ресурсу електротехнічних пристроїв з витковими елементами на основі дослідження дефектності ізоляції обмотувальних емальованих проводів.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дипломної роботи є аналіз методів дослідження ізоляції виткових елементів електроустановок та вибір найбільш ефективних, за допомогою яких можливо встановити реальний стан елементів ізоляційної конструкції для оцінювання її надійності в експлуатації.

Поставлена в дипломній роботі мета вимагає вирішення таких задач:

– провести аналіз результатів існуючих методик випробувань емальпроводів для встановлення їх чутливості щодо виявлення прихованих дефектів ізоляції;

– провести дослідження проблеми встановлення критерію поздовжньої однорідності лакового шару емальованого проводу, достатньої для гарантування технологічної й експлуатаційної стійкості у виткових елементах електроустановок;

– визначити математичний апарат для опису стану дефектності ізоляції як показника статистичної неоднорідності одновісно орієнтованого об’єкту, яким є емальований обмотувальний провід, а також встановити критерії віднесення стану ізоляції до певного її ступеня дефектності;

– здійснити вибір закону розподілу випадкової величини напруги пробою ізоляції, який би найбільш близько відповідав фізичним закономірностям динаміки дефектоутворення в ізоляції емальованого проводу;

– розробити методику випробувань ізоляції підвищеною напругою, достовірність і точність визначення електричної міцності у місцях прихованих чи явних дефектів яких, забезпечить усунення статистичної невизначеності результатів випробувань ізоляції;

– провести аналіз математичних моделей динаміки дефектоутворення з врахуванням «проблемних» результатів випробувань як джерел інформації про реальний стан ізоляції емальованих проводів.

**Об’єкт дослідження -** процес підвищення достовірності інформації про реальний стан дефектності ізоляції емальованих проводів в результаті проведених випробувань.

**Предмет дослідження -** методи й математичні моделі діагностування стану дефектності ізоляції емальованих обмотувальних проводів.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

– Отримало подальший розвиток дослідження використання для створення математичної моделі дефектності ізоляції емальованого проводу з врахуванням різного ступеня її дефектності похідного від нормального закону розподілу напруг пробою – статистичного ряду Шарльє, який враховує асиметрію та ексцес розподілу напруг пробою ізоляції як випадкових величин.

– Отримало подальший розвиток обґрунтування математично описаних критеріїв віднесення стану ізоляції обмотувальних проводів до класифікаційних груп згідно встановленої її дефектності.

**Практичне значення отриманих результатів.** Ефективне використання способу діагностування лакового шару емальованих проводів та методу віднесення ізоляції до певної групи дефектності дозволить суттєво знизити втрати матеріальних ресурсів внаслідок неналежної якості виткових елементів електроустановок.

**Апробація.** Результати досліджень за темою дипломної роботи були представлені на VІІ-й Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 8-и розділів, висновків, переліку посилань (36 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 136 стор., 9 табл., 15 рис.

**ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** подано загальну характеристику роботи: стан розробки наукової проблеми й актуальність роботи, мету і завдання роботи, об’єкт і предмет дослідження, описано наукову новизну і практичну значимість результатів.

**У першому розділі «Аналітична частина»** проведено стислий аналіз проблематики випробувань ізоляційних конструкцій електрообладнання. Проаналізована класифікація методів випробувань та наведені особливості високовольтних випробувань. Проведено аналіз доцільності використання макетів елементів і вузлів ізоляції. Обґрунтована необхідність контролю ізоляції електричних установок на наявність розрядних процесів.

**У другому розділі «Науково-дослідна частина»** проведені дослідження електрофізичних процесів в ізоляції. Розглянуті моделі руйнування ізоляції під дією теплового і електричного полів. Проведені дослідження процедури діагностування напругою ізоляції емальованих проводів з метою підвищення достовірності й повноти інформації щодо реального стану лакового шару ізоляції емальпроводу.

**У третьому розділі «Технологічна частина»** здійснений вибір установок для випробувань ізоляційних конструкцій підвищеною напругою. Розглянуті особливості методик проведення високовольтних випробувань, конструкцій електродних вузлів та зразків ізоляційних конструкцій електрообладнання.

**У четвертому розділі «Проектно-конструкторська частина»** розглянуті основні відомості про характер пошкоджень лакового шару емальпроводів як при його формуванні, так і після дії технологічних чинників виробництва. На основі проведених попередніх досліджень сформоване конструктивне рішення випробувальної високовольтної установки з реалізацією методу «суцільного контакту» для діагностування прихованих дефектів, які не виявляються стандартними методиками.

**У п’ятому розділі «Спеціальна частина»** досліджені методики прискореного визначення нагрівостійкості різного типу ізоляційних конструкцій. Проведені дослідження залежності кута діелектричних втрат від температури з певними обмеженнями дають можливість оцінювати температурний індекс лакового шару емальпроводу.

**У шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності»** проведені дослідження особливостей інвестицій у розвиток локальних електричних мереж та сформовані висновки щодо ефективності проектних рішень в цих мережах.

**У сьомому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях**» проведений аналіз причин виникнення виробничих аварій, діючих на організм людини метеорологічних чинників, а також досліджена стійкість об’єктів енергетики в умовах дії надзвичайних факторів.

**У восьмому розділі «Екологія»** проведений аналіз екологічних проблем та розглянута проблема зменшення техногенного впливу підприємств енергетичного комплексу на навколишнє середовище.

**ВИСНОВКИ**

У дипломній роботі проведений аналіз та здійснений вибір методів дослідження ізоляції виткових елементів електроустановок для встановлення їх ефективності й достовірності інформації щодо реального стану дефектності ізоляції.

Отримані такі результати:

1. Проаналізовані методи випробувань ізоляційних конструкцій електрообладнання для визначення їх показників надійності в експлуатації.

2. Здійснений аналіз методу прискорених випробувань електрообладнання на основний діючий експлуатаційний чинник - старіння ізоляції під дією теплового навантаження.

3. Проаналізована необхідність випробувань електроустановок на макетах їх ізоляційних конструкцій. Наведені особливості випробувань макетів згідно стандартних методик.

4. Обґрунтований підхід до вибору номіналів напруг при випробуваннях ізоляції підвищеною напругою та необхідність контролю ізоляційних конструкцій електричних апаратів на наявність розрядних процесів.

5. Проаналізована достовірність результатів широко використовуваних метрологічних процедур дослідження об’єктів типу ізоляції емальованих проводів, що використовуються для виткових елементів електроустановок.

6. Обґрунтована необхідність дослідження аномальних результатів випробувань, що не містять систематичних похибок.

7. Проаналізована спеціальна методика «суцільного контакту», що є більш точним інструментом при досліджені ізоляції емальованих проводів, яка дозволяє підвищити інформативність існуючої стандартної методики, виявляючи прихований реальний стан лакового шару ізоляції, особливо при наявності мінімальних значень напруг її пробою.

8. Досліджена методика у поєднанні з елементами робастного аналізу дозволяє математично описувати розподіли напруг пробою у місцях розташування дефектів і послаблень ізоляції за допомогою похідного від нормального закону статистичного ряду Грама–Шарльє для створення математичних моделей, які враховують реальну дефектність емальпроводу.

9. Досліджені випробувальні установки ізоляційних конструкцій та основні вимоги стандартів до них щодо забезпечення умов випробувань.

10. Встановлено, що установка для випробування ізоляції підвищеною напругою повинна обладнуватися системою захисту від перенавантажень, в тому числі й кульовими розрядниками.

11. Досліджені вимоги до конструкцій електродних вузлів та зразків ізоляційних конструкцій електроустаткування для високовольтних випробувань.

12. Проаналізовано, що одним з напрямів дослідження поздовжньої неоднорідності ізоляції є застосування методу суцільного контакту, наприклад у воді, з одночасним математичним описом щільності розподілу дефектів ізоляції вздовж одиниці довжини емальпроводу.

13. Досліджено, що в результаті усунення з розрядного проміжку неконтрольованої повітряної складової методикою випробувань створюється можливість побудови математичної моделі щільності розподілу напруг пробою ізоляції у її найбільш дефектованих місцях.

14. Досліджено, що з метою знаходження якнайбільш повної характеристики стійкості електроізоляційного матеріалу до теплового старіння, визначають зміну властивостей при різних термінах витримки та температурах.

Інструментальне вирішення розробленої методики дослідження ізоляції емальованих проводів суттєво підвищує ефективність їх діагностування та достовірність результатів випробувань, в результаті чого стає можливим налаштування технологічних ланок на бездефектне виготовлення виткових елементів електроустановок.

**СПИСOК OПУБЛIКOВAНИХ AВТOPOМ ПPAЦЬ ЗA ТЕМOЮ POБOТИ**

1. Євтух П. С. Метод оцінювання температурного індексу ізоляції емальованих проводів за діелектричними втратами / П. С. Євтух, О. О. Вакуленко, В. В. Дідух // Матеріали VІI МНТК молодих учених та студентів ТНТУ (28–29 листопада 2018 р., Тернопіль) : Зб. тез доп. Т.3. – Тернопіль, 2018. – С. 11–12.

**АНОТАЦІЯ**

Дідух В. В. Аналіз та вибір методів дослідження ізоляції обмоток високовольтних трансформаторів. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕмз–61. - Тернопіль : ТНТУ, 2018.

Стор. - 136; рис. - 15; табл. - 9; креслень - 5; джерел - 36; додатків -.

У дипломній роботі проведений аналіз та здійснений вибір методів дослідження ізоляції виткових елементів електроустановок для встановлення їх ефективності й достовірності інформації щодо реального стану дефектності ізоляції.

Проаналізовані методи випробувань ізоляційних конструкцій електрообладнання для визначення їх показників надійності в експлуатації.

Проаналізована достовірність широко використовуваних метрологічних процедур дослідження ізоляції емальованих проводів, що використовуються для виткових елементів електроустановок.

Обґрунтована необхідність дослідження аномальних результатів стандартних випробувань, що не містять систематичних похибок.

Досліджена і обґрунтована ефективність методики, яка дозволяє математично описувати розподіли напруг пробою у місцях розташування дефектів і послаблень ізоляції за допомогою статистичного ряду Грама–Шарльє для створення математичних моделей, які враховують реальну дефектність ізоляції як у вихідному стані емальпроводу, так і внаслідок дії технологічних чинників при виготовленні виткових елементів електроустановок.

Ключові слова: емальований провід, випробування ізоляції напругою, дефектність ізоляції, статистичні методи.

**ANNOTATION**

Didukh V. Analysis and choice of research isolation methods of windings of high-voltage transformers. 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty Information Technologies and Electrical Engineering. Chair of Electrical Engineering, group EEmd–61. - Ternopil : TNTU, 2018.

Pages - 136; Illustrations - 15; Tables - 9; Drawings - 5; Sources - 36; Applications –.

In this diploma paper the analysis carried out and the choice of the research methods used to isolate the winding elements of electrical installations to determine their efficiency and reliability of information about the real state of defect isolation.

Test methods of insulation of electrical equipment for the determination of their reliability indicators in operation were analyzed.

Тhe reliability of the widely used metrological procedures for the study of insulation of enamelled wires used for winding elements of electrical installations was analyzed.

The necessity of studying abnormal results of standard tests without systematic errors was substantiated.

The effectiveness of a methodology that allows mathematically to describe the breakdown voltage distributions in the locations of defects and weakening of the insulation using the statistical series Grama-Charlier to create mathematical models that take into account the real defect in isolation both in the initial state of the enamel line and as a result of the technological factors in the manufacture of turning elements Electrical installations were explored and justified.

Кey words: enamelled wire, insulation testing, insulation influence, statistical methods.