

УДК 621.315.337.4

П. С. Євтух, д-р. техн. наук, проф., О. О. Вакуленко

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИПРОБУВАНЬ НАПРУГОЮ ІЗОЛЯЦІЇ ЕМАЛЬОВАНИХ ПРОВОДІВ

P. Yevtukh, Dr., Prof., O. Vakulenko

INCREASING EFFICIENCY OF THE ENAMELLED WIRES TESTING INSULATION

Найбільш визначальним показником якості лакового шару емальованих проводів є напруга пробою. Однак, широко використовувані методики її визначення, в тому числі й стандартні, мають один суттєвий недолік: в розрядному проміжку завжди присутній повітряний, причому різної довжини, що зумовлює значний розкид напруг та їх значне завищення. Дослідженнями встановлено до 3-кратного перевищення напруги пробою ізоляції стандартним методом над реальною напругою пробою у місцях послаблення ізоляції чи розташування дефектів. Так, для емальованого проводу марки ПЭЭИДХ2–200–1,25 ТУУ 31.3–00214534–0.35:2005, одного з проводів досліджуваної серії номіналом (0,56 ... 1,80) мм, були отримані такі найбільш ймовірні напруги U_{50} , кВ, згідно стандартного методу (1) на зразках типу «скруток», візуального виявлення дефектів ізоляції у коронному розряді (2) та методом «суцільного контакту» (3) [1]: $U_{50}(1) : U_{50}(2) : U_{50}(3) = 10,75 : 7,15 : 3,45 = 3,16 : 2,07 : 1$.

Спостереженнями за місцем виникнення видимої корони на робочій частині зразків типу «скруток» при випробуванні ізоляції серії емальованих проводів на пробій було підтверджене допущення, що у місцях розташування дефектів чи послаблень ізоляції є підсилення напруженості електричного поля, яке супроводжується характерним свіченням у фіолетовій області видимого спектру світла.

Напруга виникнення видимого коронного розряду U_k практично співпадала з розрахунковою. Так, при зміні густини повітря у місці проведення випробувань в межах $\delta = 0,97 \dots 1,02$ та при діаметрах досліджуваних проводів $d = (0,30; \dots ; 0,71)$ мм й коефіцієнті шорсткості $m = 0,99 \dots 1,00$ розрахункова напруженість електричного поля виникнення коронного розряду складала $E_k = (79,0 \dots 102,7)$ кВ·см⁻¹. Відповідна напруга U_k розвитку іонізаційного процесу на «скрутках» проводів при відстані між їх центрами $D = (0,328; \dots ; 0,786)$ мм рівна $U_k = (0,93 \dots 2,90)$ кВ. В умовах проведених досліджень поява видимої корони була зафіксована при напругах $U_{к.в.}^* = (1,6 \dots 3,2)$ кВ, що, з врахуванням суб'єктивності зорового сприймання спостерігача, є цілком достатнім підтвердженням справедливості проведених розрахунків.

Отримана поліноміальна модель залежності напруги пробою як функції відгуку, кВ, від складових розрядного проміжку при випробуванні емальованих проводів цієї серії згідно стандартної методики із застосуванням зразків типу «скруток» мала вигляд: $Y = 9,1 + 0,24 \cdot X_1 + 2,74 \cdot X_2 + 0,81 \cdot X_3$. Тут X_1 - відстані вздовж кривої найменшої довжини між місцями пробою штучних дефектів ізоляції, мм; X_2 - те ж згідно стандартної методики, мм; X_3 - номінальний діаметр емальованого проводу, мм. Вплив максимального фактору X_2 (випробування згідно стандартної методики) на функцію відгуку оцінюється значенням (27 ... 30)%, а причиною є статистичний розкид електричної міцності ізоляції, залежний від поздовжньої неоднорідності лакового шару емальованих проводів, що зумовлює появу значного повітряного проміжку різної довжини в розрядному і підтверджує недосконалість стандартної методики щодо виявлення дефектів чи послаблень ізоляції [2].

Для встановлення реального ступеня неоднорідності ізоляції були застосовані статистичні методи дослідження вибірок з мінімальним розміром 10 шт. зразків типу «скрутка». Так, для емальованого проводу марки ПЕТ–155–0,56 ТУ У 31.3–20006134–015:2004 параметри статистичного ряду склали: $\bar{U}_{n1} = 10,6 \text{ кВ}$, $S_{n1} = 0,92 \text{ кВ}$. Перевірка на аномальність цього варіаційного ряду за допомогою критерію Граббса виявила, що значення $U_1 = 8,2 \text{ кВ}$ є аномальним і повинне бути виключене з вибірки результатів як груба помилка й таке, ймовірність якого менша за рівень значимості $\alpha = 0,05$. Однак, повторна перевірка статистичного ряду з подвоєним числом зразків та параметрами: $\bar{U}_{n2} = 10,24 \text{ кВ}$, $S_{n2} = 1,49 \text{ кВ}$ згідно цього критерію підтвердила наявність аномального «викиду» на рівні $U_2 = 5,6 \text{ кВ}$.

Перевірка на однорідність обох результатів за допомогою t -критерію Ст'юдента: $t_\gamma = t_{0,95} = 2,048 \geq t = 0,162$ показала, що вибіркові середні \bar{U}_{n1} та \bar{U}_{n2} різняться неістотно і обидві вибірки отримані з однієї генеральної сукупності випадкової величини u . Застосування до цих вибірок T -критерію Крамера–Велча, який враховує обмеженість їх об'єму, також підтвердило статистичну однорідність вибірок з їх аномальними значеннями: $|T| = 0,814 \leq u_{0,975} = 1,96$. Нерівність виду: $0,396 \leq 2,623 \leq 2,908$, розрахована за допомогою F -критерію Фішера для встановлення допустимості розкиду середньоквадратичних відхилень S_{n1} та S_{n2} , вказала на рівноточність проведених замірів напруги пробною ізоляцією, а самі заміри - позбавлені систематичної похибки [2].

Позитивний сукупний критеріальний результат підтвердив гіпотезу про те, що ізоляція емальованого проводу містить ділянки з дефектами чи послабленою ізоляцією.

Для встановлення характеристик розподілів напруг пробною у місцях послаблення чи дефектів ізоляції ефективним є застосування спеціально розробленого методу «суцільного контакту» на зразках довжиною $(1,0 \pm 0,1)$ м [1]. Після математичного оброблення отриманих мінімальних значень напруг пробною виявляється, що найбільш близьким є статистичний ряд Грама–Шарльє, який описується рівнянням щільностей розподілів: даного $f_s(U)$ й нормального $\varphi(U)$.

Для двомодальних розподілів з наявними «викидами» обох модальних ділянок напруги ефективним є використання функції правдоподібності $L[M(U); \sigma(U); S_k; \varepsilon]$ у поєднанні з групуванням масиву інтервалами рівної ймовірності. В результаті отримують відкориговані такою процедурою характеристики закону розподілу кожної з модальностей з відповідними відносними частотами w_{s1}, w_{s2} .

Отримані згідно методики [1] в результаті моделювання функції розподілів $F(U)$ використовують для нормування ізоляції згідно п'яти ступенів дефектності: ізоляція бездефектна (теоретично); з низьким, середнім, високим і підвищеним ступенями дефектності.

Розроблена методика дозволяє створювати математичні моделі, які враховують реальну дефектність ізоляції як у вихідному стані емальованого проводу, так і внаслідок дії технологічних чинників виробництва.

Література

1. Євтух П.С. Дослідження інформативності методів випробовувань напругою ізоляції емальованих проводів / П.С. Євтух, О.О. Вакуленко // Енергетика і автоматика. – 2013. – №2. – С. 20–31.
2. Yevtukh, P. Features of statistical data processing at insulation testing of enameled electric wires / P. Yevtukh, O. Vakulenko // Scientific Journal of the Ternopil National Technical University. – № 1 (81). – 2016. – P. 98–106.