

УДК 519.241.2; 621.317.333.6

## МЕТРОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МІЦНОСТІ ЕМАЛЬОВАНОГО ПОКРИТТЯ ОБМОТКОВИХ ПРОВІДІВ

*П. С. Євтух, доктор технічних наук*

*О. О. Вакуленко, пошукач\**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

*Встановлена необхідність додаткового дослідження причин появи аномальних значень при стандартних методиках випробовувань напругою ізоляції обмоткових емальованих проводів. Доведена перевага статистичного моделювання при дослідженні емальованого покриття безпосередньо у місцях розташування послаблень і дефектів ізоляції.*

*Емальпровід, випробування ізоляції напругою, дефектність, статистичні методи.*

Виготовлення електричних машин і апаратів на різних стадіях технологічного процесу супроводжується контрольними операціями, на яких піддаються випробуванням як вироби в цілому, так і їх окремі компоненти. При цьому основним правилом є забезпечення гарантованого рівня якісних показників комплектуючих виробів й матеріалів у вихідному стані та недопущення значного їх погіршення внаслідок дії технологічних чинників. Стосовно емальованих проводів, які використовуються при виготовленні їх обмоткових елементів, забезпечення (2 – 3) – кратного перевищення напруги пробою лакового шару ізоляції проводу, заміряної стандартним методом «скруток», над нормативним значенням вважається достатнім рівнем якості технологічного процесу намотування.

При цьому, щодо крайніх значень варіаційного ряду напруг пробою ізоляції переважна більшість нормативних документів рекомендують досліднику відкидати і не брати до уваги «проблемні» результати замірів як такі, що порушують нормальність членів варіаційного ряду. В основу цих рекомендацій покладені методики відомого дослідника статистичних рядів Ф. Граббса (Grubbs Frank E.) [1], за допомогою яких у варіаційному ряді можна виявити мінімальне (максимальне) аномальне значення або їх поєднання одночасно.

Розвитком методів Граббса (Grubbs) є рекомендації [6], за допомогою яких можна виділити з нормального варіаційного ряду декілька аномальних мінімальних чи максимальних значень у їх різних поєднаннях. Більша конструктивність притаманна іншим дослідникам [7], які ставлять під сумнів твердження про всеохоплюючу широку придатність нормального закону розподілу.

---

\* Науковий керівник - докт. техн. наук, професор Євтух Петро Сільвестрович

**Мета роботи** – запропонувати на основі виконаного метрологічного аналізу нові підходи до проблеми наявності аномальних значень у статистичних вибірках дослідження електричної міцності ізоляції емальованих проводів для виявлення й математичного опису реального стану її дефектності.

**Матеріал і методика досліджень.** Дослідженням піддавались емальовані проводи марок ПЕТ–155 ТУ У 31.3–20006134–015:2004, ПЕТД–200 ТУ У 31.3–20006134–014:2004, ПЕТД2–200 ТУ У 13970259.001–97 та ПЭЭИДХ2–200 ТУ У 31.3 – 0021534.035:2005 різних номінальних діаметрів.

Програма включала наступні види досліджень ізоляції емальпроводів:

- встановлення нормальності дисперсії значень напруг пробою ізоляції;
- метрологічне дослідження аномальних значень напруг пробою;
- визначення та математичний опис реальної електричної міцності послаблених місць чи дефектів ізоляції.

Для реалізації програми використовувались наступні методики досліджень:

- напруга пробою ізоляції визначалась за допомогою стандартних двопроводових «скруток» згідно методик ІЕС 60317–0–1 (ГОСТ 14340.7–74), а оброблювання замірів – згідно методики ДСТУ ГОСТ ІСО 5725–2:2005;
- електрична міцність лакового ізоляційного шару у місцях розташування дефектів визначалась методом суцільного контакту згідно [9].

**Результати досліджень.** Для дослідження впливу технологічних і конструктивних факторів на стан лакового шару ізоляції емальованого проводу обмотковий елемент електричної машини чи апарату до просочування (напівфабрикат) розмотують без пошкодження ізоляції та визначають його електричну міцність впродовж всього елемента.

Таким випробуванням була піддана вибірка з контрольованої партії електричних апаратів (напівфабрикатів), обмоткові елементи яких виготовлялись з емальпроводу марки ПЕТ–155 – 0,56 ТУ У 31.3 – 20006134 – 015:2004 у вигляді прямокутних виробів з розбірним комбінованим каркасом та з відношенням сторін (2,0 – 2,5):1 з кількістю витків – 900 й швидкістю їх намотування – 1600 об·хв<sup>-1</sup> на одному намотувальному верстаті.

Напруги пробою варіаційного ряду цієї вибірки з  $n_1 = 10$  шт. стандартних зразків на пробій ізоляції методом „скруток” показали  $\sim (2 - 3)$  – кратний запас електричної міцності ізоляції (норматив – не менше 4600 В) і мали наступні значення, кВ: 8,2; 10,4; 104; 10,6; 10,8; 108; 11,0; 11,0; 11,2; 11,6, а також параметри нормального закону розподілу напруг пробою ізоляції на рівні: середня напруга  $\bar{U}_{n_1} = 10,6$  кВ, середньоквадратичне відхилення  $S_{n_1} = 0,92$  кВ.

Оскільки статистичні характеристики генеральної сукупності випадкових величин напруг пробою  $u$  ізоляції емальпроводів контрольованих обмоткових елементів невідомі було проведено оцінювання отриманих результатів на аномальність за допомогою критерію Граббса (Grubbs) згідно методики [2]. А саме, для значення двосторонньої ймовірності знаходження

випадкової величини  $u$  в інтервалі ( $u_{\min} \dots u_{\max}$ )  $\gamma = 0,95$  або відповідного рівня значимості  $\alpha = 1 - \gamma$ ;  $\alpha = 0,05$  коефіцієнт  $\beta_1 = 2,29$  при  $n_1 = 10$  шт. зразків. Оскільки коефіцієнти розкиду  $x_{1_i}$  крайніх значень вибірки (8,2 кВ та 11,6 кВ) рівні (1):

$$x_{1_1} = \frac{U_1 - \overline{U}_{n_1}}{S_{n_1}}; \quad x_{1_1} = 2,61 \text{ та } x_{1_{10}} = \frac{U_{10} - \overline{U}_{n_1}}{S_{n_1}}; \quad x_{1_{10}} = 1,09, \quad (1)$$

значення  $U_1 = 8,2$  кВ є аномальним (його коефіцієнт розкиду  $x_{1_1}$  перевищує коефіцієнт  $\beta_1$ ) і повинне бути виключене з вибірки результатів як груба помилка й таке, ймовірність якого менша за рівень значимості  $\alpha$ .

Для уточнення статистичних характеристик напруг пробою ізоляції з іншого обмоткового елемента була сформована й випробувана вибірка з подвоєним  $n_2 = 20$  шт. числом стандартних зразків («скруток»), варіаційний ряд якої мав наступні значення, кВ: 5,6; 7,4; 9,2; 9,6; 9,6; 10,0; 10,2; 10,4; 10,4; 10,6; 10,8; 10,8; 10,8; 11,0; 11,0; 11,2; 11,2; 11,4; 11,4; 12,2 й характеристики:  $\overline{U}_{n_2} = 10,24$  кВ,  $S_{n_2} = 1,49$  кВ.

Перевірка на аномальність дала наступні значення коефіцієнта розкиду  $x_{2_i}$ :  $x_{2_1} = 3,11$ ;  $x_{2_2} = 1,91$ ;  $x_{2_{20}} = 1,32$ , що при  $\alpha = 0,05$  та  $n_2 = 20$  шт. і відповідному коефіцієнті  $\beta_2 = 2,709$  [2] знову вказало на аномальність найменшого значення напруги пробою  $U_1 = 5,6$  кВ. При цьому, другий мінімальний результат  $U_2 = 7,4$  кВ мав коефіцієнт розкиду  $x_{2_2} = 1,91$ , був меншим за коефіцієнт  $\beta_2$  і належав, таким чином, до нормального розподілу напруг пробою ізоляції.

З врахуванням наявних в обох вибірках «проблемних» результатів, оцінювалась величина зміщення їх середніх арифметичних значень за допомогою  $t$ -критерію Ст'юдента (Student – Gosset William Sealy) [3] згідно виразу (2):

$$t = \frac{|\overline{U}_{n_1} - \overline{U}_{n_2}|}{\sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2} \cdot \frac{n_1 \cdot (n_1 - 1) \cdot S_{n_1}^2 + n_2 \cdot (n_2 - 1) \cdot S_{n_2}^2}{n_1 + n_2 - 2}}}; \quad t = 0,162. \quad (2)$$

При значенні двосторонньої ймовірності  $\gamma = 0,95$  та числі ступенів вільності  $k = n_1 + n_2 - 2$ ;  $k = 28$  згідно [3], коефіцієнт довіри  $t_\gamma = t_{0,95} = 2,048 \geq t$ . Таким чином, згідно даного критерію сумісності вибірккові середні  $\overline{U}_{n_1}$  та  $\overline{U}_{n_2}$  різняться неістотно і обидві вибірки можна вважати такими, що отримані з однієї генеральної сукупності випадкової величини  $u$ .

Деякі дослідники [8] ставлять під сумнів останній висновок, стверджуючи, що  $t$ -критерій дозволяє лиш перевірити гіпотезу про рівність математичних сподівань, зважаючи на обмеженість вибірок (принаймі на два порядки). Замість критерію Ст'юдента (Student) для перевірки однорідності пропонується до використання  $T$ -критерій Крамера–Велча (Cramer Gabriel – Welch Bernard Lewis), який ґрунтується на наступній статистиці (3), адаптованій до даних досліджень:

$$T = \frac{\sqrt{n_1 \cdot n_2} \cdot (\overline{U}_{n_1} - \overline{U}_{n_2})}{\sqrt{n_2 \cdot S_{n_1}^2 + n_1 \cdot S_{n_2}^2}}. \quad (3)$$

З асимптотичної нормальності  $T$ -статистики впливає правило прийняття рішення для критерію Крамера–Велча (Cramer – Welch): якщо  $|T| \leq u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ , де  $u_{1-\frac{\alpha}{2}} = u_p$  – квантиль нормального розподілу з ймовірністю  $p$ , то гіпотеза однорідності (рівності) математичних сподівань приймається на рівні значимості  $\alpha$ . Це означає, що для досліджуваних статистичних характеристик обох вибірок (з врахуванням їх аномальних значень) при ймовірності  $\gamma = 0,95$  з рівняння (3) матимемо нерівність, яка підтверджує цю гіпотезу:  $|T| = 0,814 \leq u_{0,975} = 1,96$ .

Допустимість розкиду середньоквадратичних відхилень перевірялась за допомогою  $F$ -критерію Фішера (Sir Fisher Ronald Aylmer) [5] згідно (4) з врахуванням аномальних значень напруг пробою та нерівності  $S_{n_2} \geq S_{n_1}$ :

$$\frac{1}{F_{1-\gamma}(f_1; f_2)} \leq F = \frac{S_{n_2}^2}{S_{n_1}^2} \leq F_{\gamma}(f_2; f_1), \quad (4)$$

де для значення  $\gamma = 0,95$  з числами ступенів вільності  $f_1 = n_1 - 1$ ;  $f_1 = 9$  й  $f_2 = n_2 - 1$ ;  $f_2 = 19$  утворена за допомогою виразу (4) нерівність [2]  $0,396 \leq 2,623 \leq 2,908$  вказала на рівноточність проведених замірів напруг пробою ізоляції, а самі заміри – позбавленими систематичної похибки.

Останнє, в сукупності з наявністю в обох вибірках аномальних значень дає підставу вважати занижені значення такими, що несуть деяку інформацію про чинники технологічного й конструктивного характеру, діючі на ізоляцію емальпроводів у процесі формування обмоткових елементів, суть якої не розкривається даним стандартним методом випробувань.

Для підтвердження наявності відхилення від нормального закону значень напруг пробою ізоляції в обох вибірках, а також однорідності отриманих результатів застосуємо ранговий непараметричний  $T$ -критерій Вілкоксона (Wilcoxon Frank). Згідно цього критерію [8] дві вибірки експериментальних даних:  $x_1, x_2, \dots, x_{n_1}$  та  $y_1, y_2, \dots, y_{n_2}$  ( $n_2 \geq n_1 \geq 5$ ) вважаються

однорідними, якщо обчислене значення суми  $W = \sum_{i=1}^{n_1} R_i$  задовільняє умові (5):

$$|T| = \frac{W - M(W)}{\sqrt{D(W)}} \leq u_{1-\frac{\alpha}{2}}, \quad (5)$$

де  $R_i$  – ранг  $x_i$ , рівний його номеру у варіаційному ряді згідно таблиці 1;

$$M(W) = \frac{n_1 \cdot (n_1 + n_2 + 1)}{2} \text{ – математичне сподівання рангової суми } W;$$

$$D(W) = \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 + 1)}{12} \text{ – дисперсія рангової суми } W.$$

### 1. Ранговий варіаційний ряд напруг пробою ізоляції

Ранг $R_i$	1	2	3	4	5,5	5,5	7	8	10,5	10,5
Значення $x_i, \text{кВ}$			8,2						10,4	10,4
Значення $y_j, \text{кВ}$	5,6	7,4		9,2	9,6	9,6	10,0	10,2		
Ранг $R_i$	10,5	10,5	13,5	13,5	17	17	17	17	17	21,5
Значення $x_i, \text{кВ}$			10,6		10,8	10,8				11,0
Значення $y_j, \text{кВ}$	10,4	10,4		10,6			10,8	10,8	10,8	
Ранг $R_i$	21,5	21,5	21,5	25	25	25	27,5	27,5	29	30
Значення $x_i, \text{кВ}$	11,0			11,2					11,6	
Значення $y_j, \text{кВ}$		11,0	11,0		11,2	11,2	11,4	11,4		12,2

Складові  $T$ -критерію Вілкоксона рівні:  $W = 168,5 \approx 169$ ;  $M(W) = 155$ ;  $D(W) = 22,7$ ;  $u_{1-\frac{\alpha}{2}} = u_{0,975} = 1,96$ .

Оскільки в процесі рангування з'явилися місця пов'язування елементів обох варіаційних рядів, дисперсію  $D(W)$  необхідно скоригувати множником  $k_W$  згідно виразу (6):

$$k_W = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k t_i \cdot (t_i^2 - 1)}{(n_1 + n_2) \cdot (n_1 + n_2 - 1) \cdot (n_1 + n_2 + 1)}; \quad k_W = 1 - 0,01 = 0,99, \quad (6)$$

де  $t_i$  – розміри  $k$  зв'язок, в які входять ранги обох вибірок. Згідно даних табл. 1:  $t_1 = 4$ ;  $t_2 = 2$ ;  $t_3 = 5$ ;  $t_4 = 4$ ;  $t_5 = 3$ .

Таким чином, згідно (5) і (6) отримана нерівність  $T = 0,62 \leq 1,96$  вказує на однорідність обох вибірок розподілів, відмінних від нормального закону.

Для усунення невизначеності щодо аномальних значень напруг пробою ізоляції розроблена методика діагностування ізоляції емальпроводів, яка базується на використанні патенту [9]. В результаті випробувань отримуємо ряд дискретних значень мінімальних величин напруг пробою ізоляції у її найбільш дефектованих місцях, нормованих до одиниці довжини емальпроводу. Цей ряд піддається статистичному обробленню з метою градації ізоляції емальпроводу згідно п'яти ступенів дефектності за допомогою числових характеристик законів розподілу ймовірностей випадкових величин: математичного сподівання  $M(U)$ , моди  $m$  медіани  $\mu$  асиметрії  $S_k$ , ексцесу  $\varepsilon$ , статистичної (інтегральної) функції розподілу  $F^*(U)$  та зіставлення з математично описаними законами розподілу випадкових величин (Грама–Шарльє (Gram Jorgen Pedersen – Charlier Carl Vilhelm Ludwig), з рівномірною густиною, нормальним), застосувавши критерій узгодженості Колмогорова для інтегральної функції розподілу.

Похідний від нормального закону розподілу закон (статистичний ряд) Грама–Шарльє (Gram–Charlier) [5] описується рівнянням (7):

$$f_s(x) = \varphi(x) + \frac{S_k}{6} \cdot \varphi'''(x) + \frac{\varepsilon}{24} \cdot \varphi^{IV}(x), \quad (7)$$

де  $\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{y^2}{2}}$  – щільність нормального стандартного розподілу;

$\varphi'''(x) = -(x^3 - 3 \cdot x) \cdot \varphi(x)$  – 3-я похідна від функції  $\varphi(x)$ ;

$\varphi^{IV}(x) = (x^4 - 6 \cdot x^2 + 3) \cdot \varphi(x)$  – 4-а похідна від функції  $\varphi(x)$ ;

$$y = \frac{x - M(x)}{\sqrt{D(x)}}; S_k = \frac{\mu_3(x)}{[\sqrt{D(x)}]^3}; \varepsilon = \frac{\mu_4(x)}{[\sqrt{D(x)}]^4} - 3;$$

$\mu_3(x), \mu_4(x)$  – центрувальні моменти випадкової величини  $x$ .

Методом суцільного контакту згідно [9] були випробувані всі вищенаведені марки емальпроводів, використовуваних для виготовлення обмоткових елементів електричних апаратів апаратури управління. Узагальнюючий же результат наведено нижче на прикладі емальпроводу марки ПЕТ–155–0,56 ТУ У 31.3–20006134–015:2004, змотаного з обмоткового елемента досліджуваної партії, за методикою [5].

Розподіл напруг пробою ізоляції  $N = 34$  шт. зразків емальпроводу ПЕТ–155–0,56 впродовж обмоткового елемента поданий у таблиці 2, де напруги пробою  $U_{\min} = 1,54 \text{ кВ}$ ;  $U_{\max} = 6,40 \text{ кВ}$ ; кількість інтервалів згідно правила Стерджеса (Sturges Herbert Arthur)  $r = 7$ ; крок зміни напруги в інтервалі  $h = 0,70 \text{ кВ}$ ;  $n_U$  – інтервальна кількість зразків.

**2. Розподіл напруг пробою ізоляції емальпроводу ПЕТ–155–0,56,  
змотаного з обмоткового елемента**

$\Delta U,$ $кВ$	[1,54...2,24)	[2,24...2,94)	[2,94...3,64)	[3,64...4,34)	[4,34...5,04)	[5,04...5,74)	[5,74...6,40)
$n_U$	1	3	10	8	7	3	1

У результаті обчислень матимемо наступні статистичні характеристики закону розподілу напруг пробою ізоляції:  $M(x) = 3,99 кВ$ ;  $M \approx 3,29 кВ < M(x)$ ;  $\sigma(x) = 1,011 кВ$ ;  $\mu_3(x) = +0,242$ ;  $\mu_4(x) = +2,506$ ;  $S_K = +0,234 \geq 0$ ;  $\varepsilon = -0,601 \leq 0$ .

Враховуючи наявну несиметричність, вводилось припущення, що розподіл напруг пробою ізоляції підлягав закону Грама–Шарльє з обчисленими коефіцієнтами  $S_k$  та  $\varepsilon$  й відносною частотою  $w_s$  (8):

$$w_s = \frac{h}{\sigma(x)} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{y^2}{2}} \cdot S, \quad (8)$$

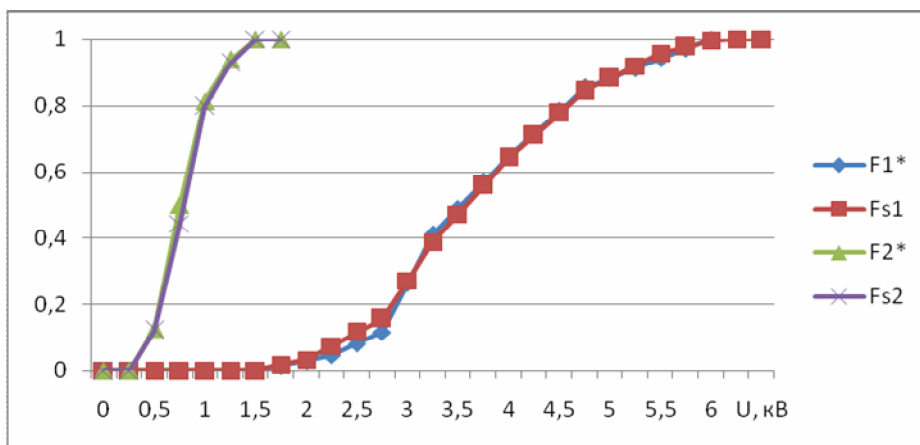
$$\text{де } y = \frac{x - 3,99}{1,011}; \quad S = 1 + 0,039 \cdot y \cdot (y^2 - 3) - 0,025 \cdot [y^2 \cdot (y^2 - 6) + 3].$$

Результати обчислення розподілу відносних частот: статистичного  $w$  та теоретичного  $w_s$  й функцій розподілу: статистичної  $F^*(x)$  та теоретичної  $F(x)$  подані у таблиці 3.

**3. Частоти та функції розподілу напруг пробою ізоляції  
емальпроводу ПЕТ–155–0,56**

$x, кВ$	1,89	2,59	3,29	3,99	4,69	5,39	6,09
$w$	0,029	0,088	0,294	0,235	0,207	0,088	0,059
$w_s$	0,032	0,125	0,230	0,256	0,201	0,113	0,039
$F^*(x)$	0,029	0,117	0,411	0,646	0,853	0,941	1,000
$F(x)$	0,032	0,157	0,387	0,643	0,844	0,957	0,996
$ F^* - F $	0,003	0,040	0,024	0,003	0,009	0,016	0,004

На рис. 1 подані графіки функцій розподілу напруг пробою ізоляції  $U$  емальпроводу ПЕТ–155–0,56, змотаного з обмоткового елемента.



**Рис. 1. Графіки функцій розподілу напруг пробую ізоляції  $U$  емальпроводу ПЕТ-155-0,56, змотаного з обмоткового елемента:**

- $F1^*$  – впродовж обмоткового елемента без початку намотування;
- $Fs1$  – те ж, згідно результатів моделювання;
- $F2^*$  – початок намотування;
- $Fs2$  – те ж, згідно результатів моделювання

Для підтвердження гіпотези було використано критерій точності моделювання – критерій Колмогорова ( $D$  – критерій) [5], згідно якого параметр критерію  $\lambda$  (9):

$$\lambda = D \cdot \sqrt{N}; \lambda \approx 0,23, \quad (9)$$

де  $D = \max|F^*(x) - F(x)|$ ;  $D = 0,040$ , а  $N = 34$  – об'єм вибірки.

Тоді [5], чисельне значення ймовірності  $P(\lambda) = 1 - \sum_{j=-\infty}^{\infty} (-1)^j \cdot e^{-2 \cdot j^2 \cdot \lambda^2}$

$P(0,23) = 1,00$  вказало на слушність гіпотези про розподіл напруг пробую ізоляції емальпроводу ПЕТ-155-0,56, змотаного з обмоткового елемента, в області значень (1,50 – 6,40) кВ згідно закону Грама-Шарльє у вигляді відповідної щільності розподілу  $f(U)$  з отриманими вище числовими характеристиками (8).

Оскільки порогова та номінальна електрична міцність ізоляції емальпроводу на початку намотування становили, відповідно:

$$E_{пор}(0,1) = \frac{2 \cdot (0,46 \dots 0,50)}{0,058 \dots 0,064} = (15 \dots 17) \text{ кВ} \cdot \text{мм}^{-1} \leq 20 \text{ кВ} \cdot \text{мм}^{-1}$$

та

$$E_{ном}(0,75) = \frac{2 \cdot (0,88 \dots 0,92)}{0,058 \dots 0,064} = (28 \dots 32) \text{ кВ} \cdot \text{мм}^{-1} \leq 100 \text{ кВ} \cdot \text{мм}^{-1},$$

то згідно [9] досліджуваний емальпровід ПЕТ-155-0,56 на початку намотування обмоткового елемента слід віднести до класифікаційної групи: ізоляція з підвищеним ступенем дефектності.



Найбільш ймовірна міцність ізоляції цієї ділянки дорівнювала:

$$E_{\text{макс}}(0,50) = \frac{2 \cdot (0,72 \dots 0,76)}{0,058 \dots 0,064} = (23 \dots 27) \text{ кВ} \cdot \text{мм}^{-1},$$

що в (5 – 7) разів менше значень електричної міцності ізоляції емальпроводу впродовж обмоткового елемента.

Отже, при виготовленні обмоткових елементів електричних апаратів з емальпроводу марки ПЕТ–155–0,56 ТУ У 31.3–20006134–015:2004 його ізоляція на початку намотування набула значних пошкоджень, які, проте, не були виявлені при випробуваннях за допомогою стандартної методики.

### Висновки

Виявлена недостатня інформативність широко використовуваних метрологічних процедур дослідження об'єктів типу електричної міцності ізоляції емальованих проводів. Обґрунтована необхідність дослідження аномальних результатів випробувань, що не містять систематичних похибок, для підвищення достовірності діагностування об'єктів досліджень.

Запропонована методика є більш точним інструментом при дослідженні ізоляції емальпроводів, яка дозволяє підвищити інформативність існуючої стандартної, особливо при наявності мінімальних, метрологічно обґрунтованих аномальних значень напруг її пробою.

Розроблена методика дозволяє математично описувати розподіли випадкових величин напруг пробою у місцях розташування дефектів і послаблень ізоляції емальпроводів за допомогою похідного від нормального закону 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 обмоткових елементів.

### Список літератури

1. Frank E. Grubbs, Glenn Beck Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations // *Technometrics*, 1972. – Vol. 14. – No. 4. – P. 847–854.
2. ГОСТ Р ИСО 5725–2–2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2 Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений [Текст]. – Введен впервые ; введ. 2002–04–23. – М. : Изд-во стандартов, 2002. – 43 с.
3. Данильченко В. П. Метрологическое обеспечение промышленного производства: Справочник [Текст] / В. П. Данильченко, Р. А. Егошин; под ред. В. П. Данильченко. – К. : Техніка, 1982. – 151 с.
4. Євтух П. С. Моделювання дефектності ізоляції емальпроводів під час виготовлення обмоткових елементів електричних апаратів [Текст] / П. С.

Євтух, О. О. Вакуленко // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація». – 2010. – №677. – С. 138–147.

5. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников [Текст] / А. И. Кобзарь. – М. : Физматлит, 2006. – 816 с.

6. Лемешко Б. Ю. Расширение области применения критериев типа Граббса, используемых при отбраковке аномальных измерений [Текст] / Б. Ю. Лемешко, С. Б. Лемешко // Измерительная техника. – 2005. – № 6. – С. 13–19.

7. Орлов А. И. О современных проблемах внедрения прикладной статистики и других статистических методов [Текст] / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. – 1992. – № 1. – С. 67–74.

8. Орлов А. И. Прикладная статистика. Учебник [Текст] / А. И. Орлов. – М. : Изд-во «Экзамен», 2004. – 656 с.

9. Пат. 54560 UA, МПК 7 G01R31/12 Спосіб оцінки ступеня дефектності ізоляції емальпроводів [Текст] / Вакуленко О. О. ; заявник ВАТ «Ватра». – № 2000042307 ; заявл. 24.04.2000 ; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3, 2003 р.

*Установлена необходимость дополнительного исследования причин появления аномальных значений при стандартных методиках испытаний напряжением изоляции обмоточных эмалированных проводов. Доказано преимущество статистического моделирования при исследовании эмалированного покрытия непосредственно в местах размещения ослаблений и дефектов изоляции.*

***Эмальпровод, испытание изоляции напряжением, дефектность, статистические методы.***

*The necessity of further research the causes of abnormal values under standard test procedures insulation voltage winding enameled wire is established. The advantage of statistical modeling in the research of enamel coating directly at the locations of the attenuation and insulation defects is proved.*

***Enameled wire, insulation test voltages, defects, statistical methods***