

УДК 621.315.658.382.3

В. М. Кутін, д. т. н., проф.,

Є. А. Бондаренко, к. т. н., доц.

ДІАГНОСТУВАННЯ ЕКРАНУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКТУ ОДЯГУ ДЛЯ РОБІТ ПІД НАПРУГОЮ В ПРОЦЕСІ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Роботи під напругою в повітряних мережах високої і надвисокої напруги (110—750 кВ) стали можливими завдяки створенню екранувальних комплектів одягу (ЕКО), в якому оператор може певний час знаходитись в сильному електричному полі електроустановок, а також створення спеціальної технології робіт під напругою, яка забезпечує безпечний вихід оператора безпосередньо на провідники мережі [1, 2].

Екранувальний комплект одягу застосовується для роботи на потенціалі провідників повітряної мережі. Тому оцінка його захисних властивостей проводиться в процесі їх виготовлення та експлуатації і здійснюється методами діагностики на спеціально створених полігонах із застосуванням манекена [3].

Недолік стендових випробувань полягає в тому, що оцінки, отримані шляхом усереднення великої кількості різних умов і факторів експлуатації і ремонту, неминуче призводять до великих допусків на оцінку захисних властивостей ЕКО. Дійсно, в процесі виконання технологічних операцій оператор у екранувальному комплекті одягу змінює своє положення по відношенню до джерела електричного поля. Екранувальна тканина, з якої виготовлено комплект захисного одягу, постійно змінює свою форму (розтягується, стискається). А тому і властивості, наприклад, такі як опір екранувального комплекту струму розтікання по поверхні і опір ізоляції між екранувальним комплектом одягу і тілом людини, ємність екранувального комплекту одягу і т. п. Оператор може мати різні зріст і вагу. Все це змінює коефіцієнт екранування за напруженістю k_e і струму k_i [3]. Самим ненадійним елементом екранувальних комплектів одягу є рукавиці і шарпетки. В процесі їх експлуатації часто виникають розриви металевих ниток, а тому і повна втрата захисних властивостей ЕКО.

Проведені авторами експериментальні дослідження захисних властивостей ЕКО в реальних виробничих умовах [3] показали, що результати стендових випробувань співпадають з результатами, отриманими у виробничих умовах лише тоді, коли оператор знаходиться на потенціалі землі. Відхилення коефіцієнтів k_e і k_i в зоні виконання робіт від стендових досягає 45 %.

В зв'язку з вищевикладеним, для підвищення вірогідності оцінки захисних властивостей ЕКО в процесі виконання робіт під напругою авторами запропоновано використовувати іншу діагностичну ознаку — енергію електричного поля, яка поглинається тілом оператора, одягненого в ЕКО [4]

$$W_h = j^2 V_h \rho_h t, \quad (1)$$

де $j = I_h / S_{\text{очн}}$ — щільність струму в еліпсоїді, еквівалентному за об'ємом тілу людини; $V_h = (4/3) \pi a_2 b_2^2$ — об'єм тіла оператора, заміненого еліпсоїдом; ρ_h — питомий опір тіла людини; t — проміжок часу, протягом якого оператор знаходиться в електричному полі; I_h — струм зміщення, що протікає через тіло оператора, одягненого в ЕКО; $S_{\text{очн.}} = \pi b_2^2$; $b_2^2 = (3/4) P_h / \pi a_2 \rho$; P_h — вага тіла оператора; ρ — питома щільність тіла оператора; a_2, b_2 — відповідно довжина великої та малої півосі еліпсоїда обертання.

Або

$$W_h = R_h I_h^2 t, \quad (2)$$

де $R_h = ((4/9) \rho_h \rho a_h^2) / P_h$ — опір тіла оператора електричному струму; $a_h = 2a_2$ — зріст оператора.

Якщо $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$, $\rho_h = 1,85 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ [1], тоді

$$R_h = 863,85 a_h^2 / P_h \quad \text{і} \quad W_h = 863,85 (a_h^2 I_h^2 / P_h) t.$$

Таким чином, за величиною енергії, що поглинається тілом людини в процесі виконання ремонтних робіт на потенціалі провідника мережі, можна контролювати захисні властивості ЕКО і виявляти пошкодження ЕКО на ранній стадії його розвитку. Цей діагностичний параметр дозволяє враховувати зміну коефіцієнта екранування в залежності від положення оператора по відношенню до джерела електричного поля, геометричних розмірів тіла оператора, часу його перебування в електричному полі.

Оцінку допустимої величини енергії, що поглинається тілом оператора (умови працездатності) можна визначити, користуючись виразом

$$W_{\text{доп.}} = S_{\text{доп.}} t_{\text{доп.}}, \quad (3)$$

де $S_{\text{доп.}}$ — допустима величина потужності, що поглинається тілом людини; $t_{\text{доп.}}$ — допустимий час перебування в електричному полі з відповідним рівнем потужності, що поглинається тілом людини в годинах.

Згідно з [1] допустиме значення потужності можна визначити з виразу

$$S_{\text{доп.}} = 2\pi a_h b_2^2 \rho_h \omega^2 \varepsilon_0^2 E_0^2 / (3N_0^2) = n E_0^2, \quad (4)$$

де $n = (2\pi a_h b_2^2 \rho_h \omega^2 \varepsilon_0^2 / 3N_0^2) = \text{const}$, $\text{м}^2/\text{Ом}$; $N_0 = (b_2/a_2)^2 (\ln(2a_2/b_2) - 1)$ — коефіцієнт деполаризації еліпсоїда обертання вздовж осі a_2 ; $\omega = 2\pi f$ — кутова частота (с^{-1}); f — частота струму, Гц; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; E_0 — напруженість електричного поля, кВ/м.

Для людини з середніми розмірами ($\alpha = 1,7 \text{ м}$, $b = 0,14 \text{ м}$) $n = 4,4 \cdot 10^{-15}$ $\text{м}^2/\text{Ом}$, з урахуванням (2)—(4) вираз для допустимої енергії, що поглинається тілом людини прийме вигляд

$$W_{\text{доп.}} = n E_0^2 t_{\text{доп.}}. \quad (5)$$

Числову величину для $W_{\text{доп.}}$ можна визначити з умови, що якщо напруженість електричного поля становить 5 кВ/м, то допустимий час перебування згідно залежності (1), складає 8 годин, тобто робочу зміну. З урахуванням цієї умови

$$W_{\text{доп.}} = n \cdot 5^2 \cdot 8 = n \cdot 200, \text{ Дж}. \quad (6)$$

В реальних умовах зріст та вага тіла людини відрізняється від середніх величин, тому у вираз для допустимої енергії вводиться поправочний коефіцієнт, який згідно з [1] визначається як

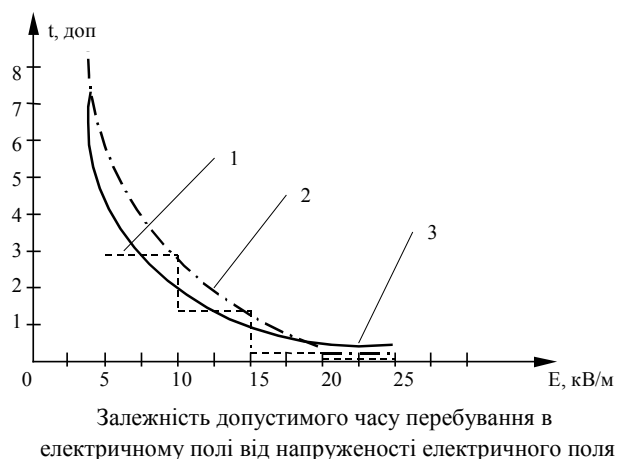
$$k = (P_h \cdot 1,7^2) / (a_h^2 \cdot 71,9^2),$$

а тому

$$W_{\text{доп.}} = nk \cdot 200. \quad (7)$$

Підставивши вираз (7) в (5) отримаємо залежність допустимого часу перебування людини в ЕП від напруженості поля для діапазону від 5 кВ/м до 25 кВ/м.

$$t_{\text{доп.}} = k \frac{200}{E_0^2}, \text{ год.} \quad (8)$$



Отриманий вираз (8) урахує взаємозалежність допустимого часу перебування персоналу в ЕП від кількості допустимої енергії, яка поглинається тілом людини, напруженості поля та реальних розмірів тіла людини.

На рисунку представлені залежності допустимого часу перебування в електричному полі від напруженості поля для ГОСТ 12.1.002-75 — крива 1, ГОСТ 12.1.002-84 — крива 2 та залежність, що пропонується — крива 3. У таблиці показана порівнювальна характеристика для контрольних точок залежностей (рис.)

Напруженість електричного поля, кВ/м	Допустимий час перебування людини у полі		
	ГОСТ 12.1.002-75	ГОСТ 12.1.002-84	той, що пропонується
5	3 години	8 години	8 години
10	3 години	3 години	2 години
15	1,5 години	1,3 години	0,9 години
20	10 хвилин	30 хвилин	30 хвилин
25	5 хвилин	10 хвилин	18 хвилин

Висновки

1. Для підвищення рівня безпеки оператора під час виконання ремонтних робіт під напругою на потенціалі дроту мережі високої і надвисокої напруги, доцільно безперервно контролювати захисні властивості комплексу одягу, що екранує.

2. В якості діагностичної ознаки, для виявлення несправності комплексу одягу, що екранує, найефективніше використовувати енергію, яка поглинається тілом людини при виконанні робіт під напругою.

3. Допустимий рівень енергії, що поглинається тілом людини (умови працездатності ЕКО), можна визначити виходячи із відповідних гігієнічних норм напруженості електричного поля E_0 і часу перебування людини $t_{доп}$. без засобів захисту в електричному полі електроустановки. Допустимий рівень струму зміщення $I_{hдоп}$ можна визначити із умови, що струм, який протікає через оператора, одягненого в ЕКО, на потенціалі землі не повинен перевищувати струм зміщення, через тіло оператора при знаходженні його в спотвореному електричному полі (на потенціалі проводу мережі).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 480 с.
2. Кульматицкий О. И., Кутин В. М. Безопасность линий электропередачи. — К.: Техника, 1991. — 112 с.
3. Кутин В. М., Бондаренко Е. А. Определение защитных свойств экранирующих комплектов для работ под напряжением на ЛЭП 330-750 кВ. — Винница: ВПИ, 1990. — 37 с. — Рус. Деп. в УкрНИИТИ 06.12.1990. № 1983 — Ук90.
4. А. с. 1781850 СССР, МКУ Н05F3/00: Способ контроля защитных свойств экранирующего комплекта одежды / В. М. Кутин, Е. А. Бондаренко (СССР). — № 4841490: Заявлено 19.06.1990 г.; Опубл. 15.12.1992. Бюл. № 46 — 11 с.

Рекомендовано кафедрою електричних станцій та систем

Надійшла до редакції 24.06.03
Рекомендована до опублікування 26.09.03

Кутін Василь Михайлович — професор кафедри електричних станцій та систем, **Бондаренко Євген Аркадійович** — доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Вінницький національний технічний університет