

*О.М. Григоренко, к.т.н., доцент кафедри, НУЦЗУ,
О.В. Кулаков, к.т.н., доцент, заст. нач. кафедри, НУЦЗУ,
В.О. Пономарьов, викладач, НУЦЗУ*

ПОБУДОВА МОДЕЛІ ЗАЛЕЖНОСТІ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ КАБЕЛЬНОГО ВИРОБУ ВІД ЧАСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЛЯ ПРОФІЛАКТИКИ ВИНИКНЕННЯ ДЖЕРЕЛА ЗАПАЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

(представлено д-ром техн. наук Андроновим В.А.)

У рамках вирішення проблеми попередження несподіваного виходу з ладу кабельного виробу (КВ) через втрату ізоляцією електрозахисних властивостей, що може призвести до виникнення джерела запалювання електричного походження у вигляді короткого замикання, розроблений та відпрацьований порядок побудови моделі залежності опору ізоляції від часу експлуатації.

Ключові слова: кабельний виріб, термін служби.

Постановка проблеми. Експлуатація КВ з часом приводить до старіння ізоляції його жил та оболонки. Це викликає погіршення електрозахисних властивостей ізоляції та є передумовою аварійним режимом роботи КВ, що може призвести до виникнення джерела запалювання електричного походження у вигляді короткого замикання. Тому надання прогнозу стану працездатності ізоляції на подальший термін експлуатації після періодичних оглядів є актуальним питанням щодо зниження імовірності виникнення пожежі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відповідно до нормативних вимог [1] запобігання появі джерела запалювання досягається підтриманням температури нагріву поверхні матеріалу нижче гранично припустимої, що складає 80% найменшої температури самоспалахування матеріалу. До спалахування матеріалу ізоляції КВ може призвести коротке замикання. Для профілактики виникнення короткого замикання ізоляції КВ проводиться її періодична діагностика, а саме: замір опору ізоляції [2] та інші. Замір опору ізоляції ми вважаємо домінуючим фактором впливу, так як на термін служби ізоляції з ПВХ пластикату у здебільшого впливає електричне старіння [3].

Постановка задачі та її розв'язання. Для попередження несподіваного виходу з ладу ізоляції КВ у рамках класичної моделі регресії [4] побудуємо модель залежності опору ізоляції КВ від часу експлуатації для кабелю марки АВВГ 4×10. Починаємо з лінійної моделі:

$$R(t) = a_0 + a_1 \cdot t, \quad (1)$$

де R – опір ізоляції, МОм·км – визначальний параметр; t – час; a_0, a_1 – коефіцієнти (параметри) регресії.

Невідомі коефіцієнти a_i (коефіцієнт a_0 потрібен для врахування усіх невідомих факторів, що не враховані в моделі, наприклад, температура, вологість і т.д.) підлягають визначенню чи статистичній оцінці. Цю оцінку найбільш зручно проводити методом найменших квадратів [4].

У кожній точці, де проводились виміри параметрів, потрібно мінімізувати суму квадратів відхилення теоретичної кривої (1) від експериментальних значень:

$$\sum_{i=1}^k (R_i - a_0 - a_1 \cdot t)^2 = F(a_0, a_1) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де R_i – значення замірів опору ізоляції в i -тих експериментальних точках, МОм·км; k – кількість експериментальних точок (кількість експериментальних точок $k = 9$, в яких по 4-и значення випадкової величини R_{ik} (4-и жили)).

Опускаючи детальні обчислювання методом найменших квадратів, для марки АВВГ 4×10 ми отримали $a_0 = 233,254$, $a_1 = -23,04$.

Після отримання коефіцієнтів регресії проводимо оцінку їх значущості. Оцінка значущості коефіцієнта регресії виконується за допомогою критерію Ст'юдента [5]. Коефіцієнт вважається значимим, якщо виконується нерівність:

$$|a_i| \geq \Delta = t_{kr} \cdot \sqrt{\frac{S_y^2}{N}}, \quad (3)$$

де Δ – інтервал значущості; S_y^2 – дисперсія відтворення, стандартна помилка досліджу, (МОм·км)²; N – кількість експериментальних значень; t_{kr} – критичне значення критерію Ст'юдента (таблична величина $t_{kr}(\alpha, N) = t_{kr}(0,05, 36) = 2,028$).

Результати наступні: модуль коефіцієнта регресії $a_0 = 233,254$, модуль коефіцієнта регресії $a_1 = 23,04$, інтервал значущості $\Delta = 14,649$.

Враховуючи умову (3) зробимо висновок, що коефіцієнти регресії a_0 та a_1 значимі.

Лінійна модель залежності опору ізоляції кабельного виробу від часу експлуатації $R(t)$ буде мати вигляд: $R(t) = 233,254 - 23,04 \cdot t$.

Перевірку адекватності моделі здійснюємо за допомогою критерію Фішера [5]. Адекватність моделі обґрунтована, якщо виконується нерівність:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} \leq F_{кр}(\alpha; f_{ад}; f_y). \quad (4)$$

де F – значення критерію Фішера; $S_{ад}^2$ – дисперсія адекватності, (МОм·км)²; $F_{кр}$ – критичне значення критерію Фішера (визначається з таблиць при рівні значущості α); $f_{ад} = N-p-1$ – число ступенів свободи дисперсії адекватності; p – кількість коефіцієнтів в моделі (для лінійної моделі $p = 2$: a_0, a_1); f_y – число ступенів свободи дисперсії відтворення.

За результатами розрахунків дисперсія адекватності $S_{ад}^2 = 201,360$ (МОм·км)², а значення критерію Фішера $F = 0,1072$. Критичне значення критерію Фішера $F_{кр}$ обираємо з таблиць. Воно дорівнює $F_{кр}(0,05; 36-2-1; 9) = 2,85$.

Так як виконується умова критерію Фішера $F \leq F_{кр}$, то гіпотеза про адекватність лінійної моделі не відкидається. Графічне відображення лінійної моделі залежності опору ізоляції від часу експлуатації з накладанням на експериментальні точки наводимо на рис. 1.

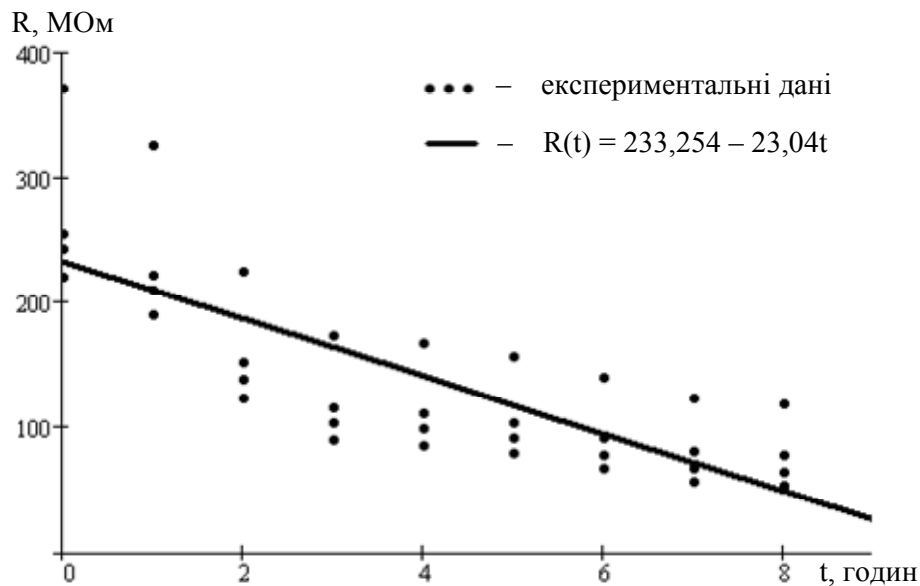


Рис. 1 – Лінійна модель залежності опору ізоляції від часу експлуатації з накладанням на експериментальні точки для кабелю марки АВВГ 4×10

Але ж, якщо подивитись на графік, то видно, що значення опору ізоляції лежать не на прямій лінії, а прогинаються. Це говорить про те, що швидкість зміни значень опору ізоляції з часом змінюється, тому виникає питання про те, чи задовольняє нас лінійна модель графічно.

Можна відкоригувати модель, задаючи її у вигляді квадратичної функції:

$$R(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2. \quad (5)$$

Значення коефіцієнтів регресії для квадратичної моделі для досліджуваних марках кабелів буде наступним: $a_0 = 272,08$, $a_1 = -56,319$, $a_2 = 4,16$.

Квадратичне рівняння для кабелю марки АВВГ 4×10 має вигляд $R(t) = 272,08 - 56,319 \cdot t + 4,16 \cdot t^2$.

Перевірку адекватності квадратичної моделі здійснимо за тією ж принциповою схемою, як і перевірка лінійної моделі, за виключенням деяких особливостей: кількість коефіцієнтів в моделі для квадратичної моделі $p = 3$ (a_0, a_1, a_2).

За результатами розрахунків дисперсія адекватності $S_{ад}^2 = 41,099$ (МОм·км)², а значення критерію Фішера $F = 0,0219$. Обираємо критичне значення критерію Фішера $F_{кр}$. Воно дорівнює $F_{кр}(0,05; 36-3-1; 9) = 2,8543$.

Так як виконується умова критерію Фішера $F \leq F_{кр}$, то гіпотеза про адекватність квадратичної моделі не відкидається. Графічне відображення квадратичної та лінійної моделей залежності опору ізоляції від часу експлуатації наводимо на рис. 2.

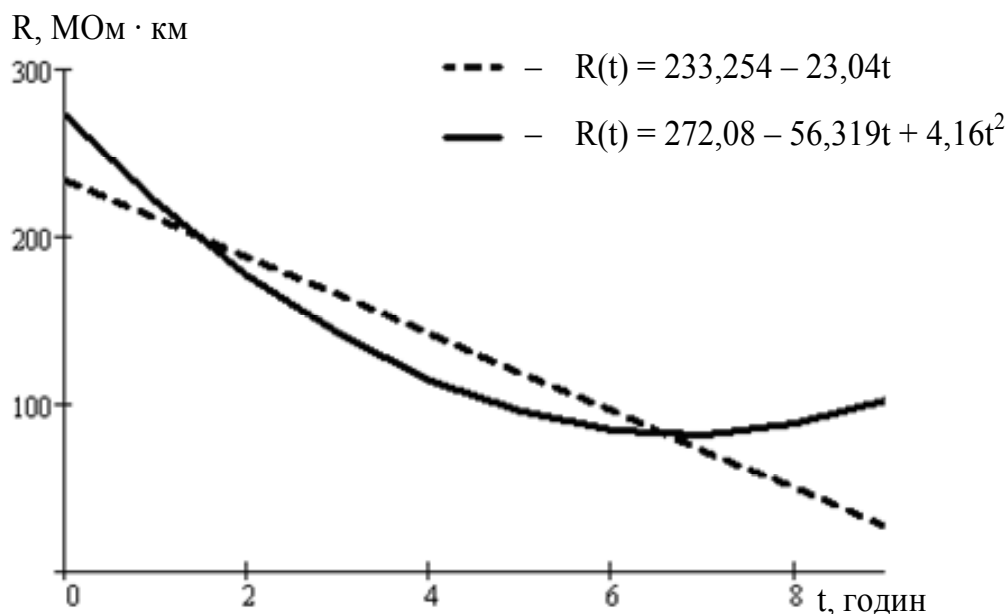


Рис. 2 – Квадратична та лінійна моделі залежності опору ізоляції від часу експлуатації для кабелю марки АВВГ 4×10

Однак парабола, гілки якої спрямовані догори, завжди має точку мінімуму. Це означає, що з часом опір ізоляції кабелю повинен знову зростати, що не є дійсним за суттю із-за необоротності процесу старіння. Отже, вигляд теоретичної кривої потрібно шукати серед таких функцій, які увесь час зменшуються, причому зменшення з часом сповільнюється. Таку властивість мають показові функції. Тому візьмемо уточнену модель у вигляді:

$$R(t) = a_0 \cdot e^{a_1 \cdot t} \quad (6)$$

Після певних обчислень значення коефіцієнтів регресії для показової моделі $a_0 = 233,976$, $a_1 = -0,158$.

Показові рівняння для досліджуваної марки кабелю $R(t) = 233,976 \cdot e^{-0,158 \cdot t}$.

Дисперсія адекватності $S_{ад}^2 = 117,919$ (МОм·км)², а значення критерію Фішера $F = 0,0628$.

Обираємо з таблиць критичне значення критерію Фішера $F_{кр}(0,05;36-2-1;9)=2,85$.

Так як для кабелю виконується умова критерію Фішера $F \leq F_{кр}$, то гіпотеза про адекватність показової моделі не відкидається. Графічне відображення показової та лінійної моделей залежності опору ізоляції від часу експлуатації з накладанням на експериментальні точки наводимо на рис. 3.

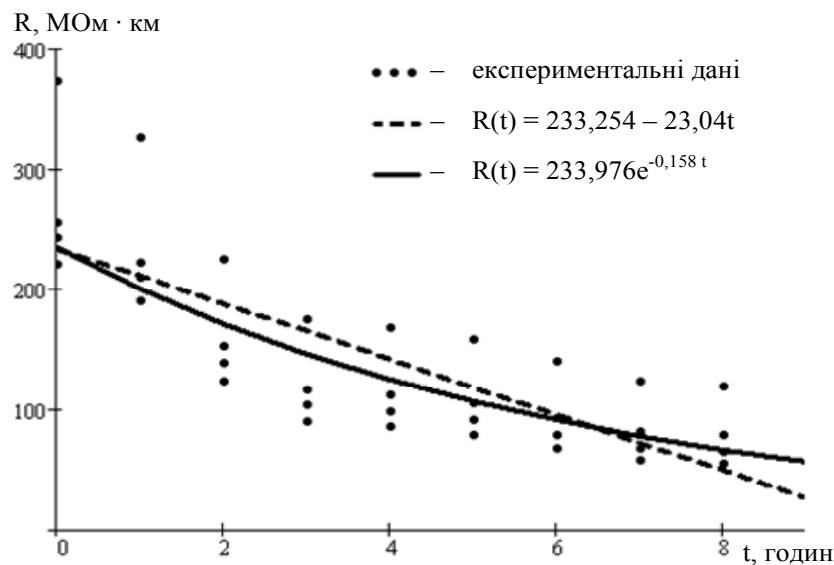


Рис. 3 – Показова та лінійна моделі залежності опору ізоляції від часу експлуатації з накладанням на експериментальні точки для кабелю марки АВВГ 4×10

З наведеної залежності (рис. 3) можемо бачити наскільки краще показова модель апроксимує експериментальні дані. Тому приймаємо за математичну модель залежності опору ізоляції від часу експлуатації показову залежність.

Висновок. Запропонований підхід дозволяє прогнозувати подальші зміни електрозахисних властивостей ізоляції на підставі значень опору ізоляції та відпрацьовувати профілактичну складову щодо виникнення пожеж від КВ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пожарная безопасность. Общие требования : ГОСТ 12.1.004–91. – [Введ. 1992-01-07]. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 78 с.
2. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів / Міністерство палива та енергетики України. – Офіц. вид. – Х.: Вид-во Форт, 2003. – 264 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Правила).
3. Сканава Г.И. Физика диэлектриков. (Область сильных полей). / Сканава Г.И. – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1958. – 907 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров - М.: Высшая школа, 1999. - 576 с.
5. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – К.: Наука, 1965. – 465 с.
nuczu.edu.ua

А.Н. Григоренко, О.В. Кулаков, В.А. Пономарев

Построение модели зависимости сопротивления изоляции кабельного изделия от времени эксплуатации для профилактики возникновения источника зажигания электрического происхождения

В рамках решения проблемы предупреждения неожиданного выхода из строя кабельного изделия из-за потери изоляцией своих электротехнических свойств, что может привести к возникновению источника зажигания электрического происхождения в виде короткого замыкания, разработан и отработан порядок построения модели зависимости сопротивления изоляции от времени эксплуатации.

Ключевые слова: кабельное изделие, срок службы.

O.M. Grigorenko, O.V. Kulakov, V.O. Ponomarev

Construction of model dependence of resistance the isolation of cable product from time of exploitation for the defense of appearance of source lighting of electric origin

On the framework decision of problem of warning unexpected death cable product from the loss of the electric defense properties an isolation, that can result in the appearance of source of lighting electric origin as a short circuit, developed and exhaust order of construction of model of dependence of resistance an isolation from time of exploitation.

Keywords: cable product, service term.