

DOI 10.36074/grail-of-science.22.07.2022.031

УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ТЕПЛОГО СТАРІННЯ ІЗОЛЯЦІЇ КАБЕЛЬНИХ ВИРОБІВ


Катунін Альберт Миколайович 

канд. техн. наук, ст. наук. спів., викладач факультету пожежної безпеки
Національний університет цивільного захисту України, Україна

Олійник Володимир Вікторович 

канд. техн. наук, доцент, начальник кафедри факультету
пожежної безпеки

Національний університет цивільного захисту України, Україна

Кулаков Олег Вікторович 

канд. техн. наук, доцент, науковий співробітник
науково-дослідного центру

Національний університет цивільного захисту України, Україна

Роянов Олексій Миколайович 

канд. техн. наук, доцент, старший викладач кафедри
факультету пожежної безпеки

Національний університет цивільного захисту України, Україна

Анотація. В роботі запропоновано удосконалення моделі Арреніуса, на основі якої проаналізовано залежності пожежобезпечного терміну експлуатації ізоляції кабельних виробів від напруженості електричного поля та температури, при цьому напруженість електричного поля та температуру представлено як випадкові величини.

Ключові слова: ізоляція, кабельний виріб, модель Арреніуса, термін, старіння.

Вступ. Досвід свідчить, що значна кількість пожеж за причиною «порушення правил пожежної безпеки під час влаштування та експлуатації електроустановок» виникають в кабельних виробках, що характеризуються терміном експлуатації, який при певних умовах може закінчитися як раніше, так і пізніше нормативного терміну [1,2]. Реально термін експлуатації кабельної продукції окремих ділянок може бути різним, враховуючи умови впливу різних факторів на ізоляцію кабелів. Своєчасна діагностика електричної ізоляції, а також струмовідних частин дозволяє здійснювати ефективне прогнозування пожежобезпечних термінів експлуатації кабельних виробів. Протягом часу внаслідок погіршення електрозахисних властивостей ізоляції кабельних виробів виникає небезпека появи джерела запалювання електричного

походження, тому виникає ймовірність появи короткого замикання, яке в більшості випадків призводить до загоряння ізоляції [1]. Для прогнозування пожежобезпечних термінів експлуатації кабельних виробів використовуються різні моделі, що дозволяють зробити оцінювання ступеня зносу ізоляції та старіння кабельних виробів [3]. На даний час існуючі моделі не в повному обсязі враховують особливості експлуатації кабельних виробів на виробничих об'єктах.

Тому удосконалення моделей оцінювання ступеню старіння ізоляції кабельних виробів з метою врахування особливостей їх експлуатації є актуальною задачею пожежної безпеки.

Основна частина. Одною із точних моделей прогнозування пожежобезпечних термінів експлуатації кабельних виробів є комбінована зворотньо ступенева модель старіння від температури, яка запропонована Арреніусом [3]:

$$\tau_{ca} = \tau_0 \cdot \exp(-BcT) \left(\frac{E}{E_0} \right)^{-(n_0 - bcT)}, \quad (1)$$

де E – напруженість електричного поля;

$cT = 1/T_0 - 1/T$ – умовна температурна напруга (T – абсолютна температура, T_0 – приблизна контрольна температура (кімнатна температура));

n_0 – коефіцієнт витривалості за напругою;

E_0 – значення напруженості електричного поля, нижче якого впливом електричного поля можна знехтувати;

τ_0 – термін експлуатації при $T = T_0$, $E = E_0$, $B = W/k$ (ΔW – енергія активації реакції термічної деградації, k – постійна Больцмана);

b – параметр, що показує синергізм теплової та електромагнітної взаємодій.

Параметри моделі підбираються таким чином, щоб при максимально довго допустимій для матеріалу ізоляції температурі термін експлуатації становив близько 30 років. В [1] зроблено аналіз впливу на значення даного терміну як температури, так і напруженості електричного поля, при цьому визначено особливості старіння ізоляції в рамках моделі, що дозволяє сформулювати практичні рекомендації при прогнозуванні пожежобезпечного терміну експлуатації кабельних виробів.

В свою чергу напруженість електричного поля в кабельних виробках безперервно змінюється внаслідок зміни напруги в електричних мережах (звичайно в межах $\pm 10\%$ від номінального значення). Крім того можливо виникнення перенапруги на ізоляції, що викликана комутаціями чи грозою. Температура, при якій функціонують кабельні вироби, більш стабільна, однак її значення також можливо представити як випадкову величину.

Даний аспект ніяк чином не враховувався в комбінованій моделі Арреніуса. Тому в даній роботі зробимо аналіз залежності пожежобезпечного терміну експлуатації ізоляції кабельних виробів від напруженості електричного поля в кабельних виробках та температури, при цьому представимо напруженість електричного поля та температуру як випадкові величини.

Таким чином, при моделюванні враховуємо, що напруженість електричного поля в кожній точці залежності буде мати вигляд:

$$E = E_c + \Delta E, \quad (2)$$

а температура в кожній точці залежності визначається як

$$T = T_c + \Delta T, \quad (3)$$

де E_c , T_c – постійні складові значень напруженості електричного поля та температури в точках розрахунку;

ΔE , ΔT – випадкові складові, які визначаються характерним законом розподілу та амплітудою коливань напруженості електричного поля та температури.

Відповідні випадкові величини можливо задавати різними методами – таблицями на основі проведених вимірювань, графічно, а також на основі законів розподілу. В даній роботі моделювання зробимо на основі застосування генератора рівномірно розподілених псевдовипадкових чисел. Відповідні результати представлено на рис. 1 – 4.

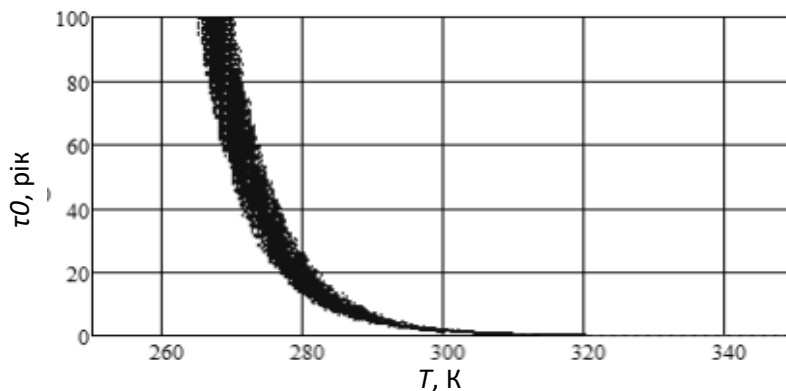


Рис. 1. Сукупність залежностей терміну експлуатації ізоляції τ_0 від температури T при значеннях напруженості електричного поля $E=3$ кВ/мм та амплітудою відхилень 5%

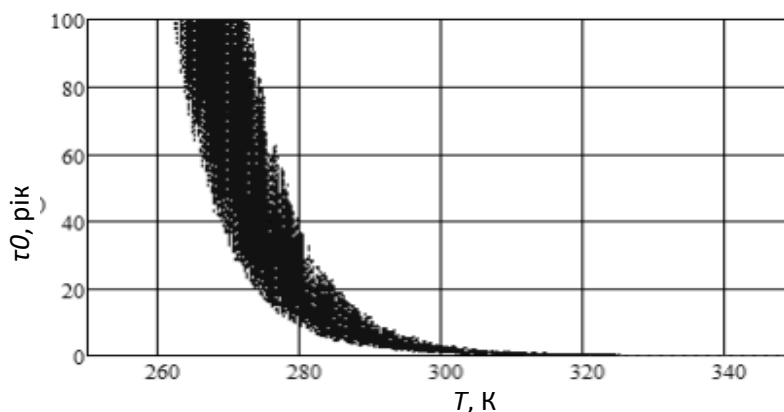


Рис. 2. Сукупність залежностей терміну експлуатації ізоляції τ_0 від температури T при значеннях напруженості електричного поля $E=3$ кВ/мм та амплітудою відхилень 10%

При моделюванні кожна точка залежностей моделювалась як випадкова величина. Аналіз наведених сукупностей дозволяє визначити наступні

особливості старіння ізоляції в рамках визначеної моделі, що використовується при умові рівномірного розподілу випадкових значень E та T :

- на практиці при коливаннях значень напруженості електричного поля E та температури T пожежобезпечний термін експлуатації ізоляції кабельних виробів може суттєво скорочуватися;

- при значеннях напруженості електричного поля $E=3$ кВ/мм та амплітуді відхилень 5% при $T=280$ К термін експлуатації ізоляції суттєво знижується після 10 років, амплітуді відхилень 10% при $T=280$ К після 5 років;

- при значеннях температури $T=280$ К та амплітуді відхилень 5% при $E=3$ кВ/мм термін експлуатації ізоляції суттєво знижується після 5...7 років;

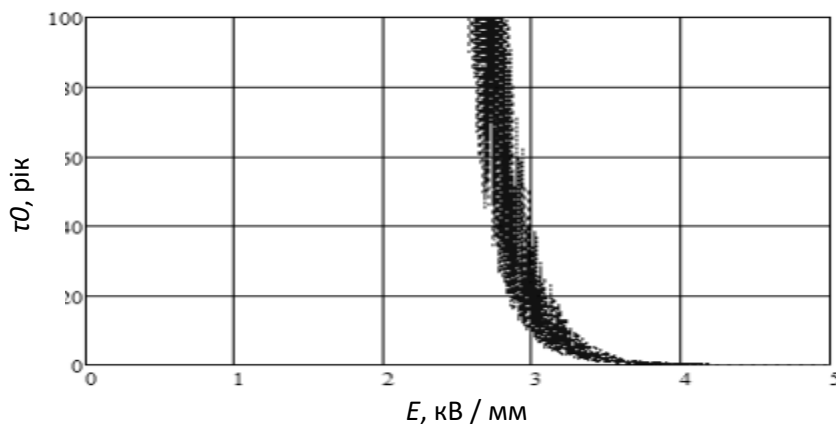


Рис. 3. Сукупність залежностей терміну експлуатації ізоляції τ_0 від напруженості електричного поля E при значеннях температури $T=280$ К та амплітудою відхилень 5%

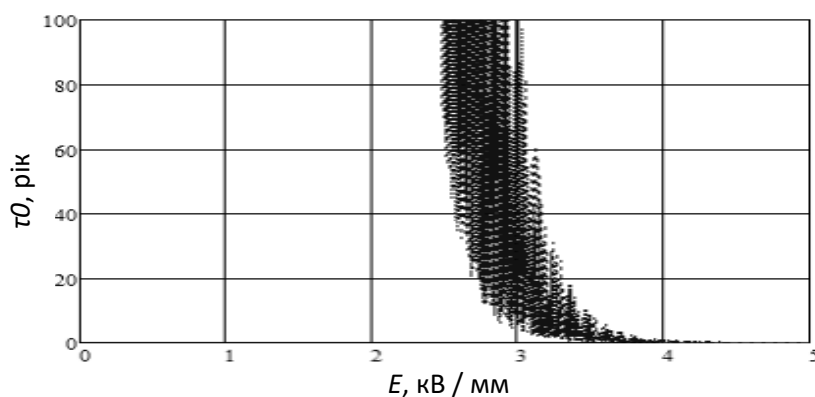


Рис. 4. Сукупність залежностей терміну експлуатації ізоляції τ_0 від напруженості електричного поля E при значеннях температури $T=280$ К та амплітудою відхилень 10%

- при значеннях температури $T=280$ К та амплітуда відхилень 10% та більше при $E=3$ кВ/мм не припустима тому, що пожежобезпечний термін експлуатації ізоляції може знижуватися в декілька разів.

Висновки. В даній роботі запропоновано удосконалення моделі Арреніуса, на основі якої проаналізовано залежності пожежобезпечного

терміну експлуатації ізоляції кабельних виробів від напруженості електричного поля в кабельних виробках та температури, при цьому напруженість електричного поля та температуру представлено як випадкові величини.

Список використаних джерел:

- [1] Катунін А.М., Кулаков О.В., Коломійцев О. В. & др. (2022). *Оцінка пожежобезпечного терміну експлуатації ізоляції кабельних виробів //* Розвиток наукової думки постіндустріального суспільства: сучасний дискурс. Вінниця, Україна. МЦНД. С. 122–126.
- [2] Кирилюк А.С., Кулаков О.В., Катунин А.Н. (2015). *Математические модели для расчета показателей надежности кабельных линий при определенных законах распределения наработки //* Проблемы пожарной безопасности. Вып. 37. С. 81–84. <http://reposit.sc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/856>.
- [3] Поляков Д.А., Холмов М.А., Плотников Д.И. & др.(2020). *Математическое моделирование срока службы полимерной изоляции кабелей //* Омский научный вестник. № 6 (174). С. 69–73. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-174-69-73.