

УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ОЦІНКИ НАГРІВАННЯ КАБЕЛЬНИХ ВИРОБІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Катунін Альберт Миколайович

ORCID ID: 0000-0003-2171-4558

канд. техн. наук, старший науковий співробітник,
доцент факультету пожежної безпеки

Національний університет цивільного захисту України, Україна

Коломійцев Олексій Володимирович

ORCID ID: 0000-0001-8228-8404

д-р. техн. наук, професор, Заслужений винахідник України,
професор кафедри комп'ютерна інженерія та програмування

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», Україна*

Олійник Володимир Вікторович

ORCID ID: 0000-0002-5193-1775

канд. техн. наук, доцент, начальник кафедри факультету пожежної безпеки
Національний університет цивільного захисту України, Україна

Роянов Олексій Миколайович

ORCID ID: 0000-0001-7631-1030

канд. техн. наук, доцент, старший викладач кафедри факультету пожежної безпеки
Національний університет цивільного захисту України, Україна

Анотація. В роботі запропоновано удосконалення моделі оцінки нагрівання кабельних виробів у процесі експлуатації. Використання даної моделі дозволить проводити порівнювальний аналіз впливу параметрів кабельних виробів на температуру їх нагрівання у процесі їх експлуатації при заданих значеннях струмів.

Ключові слова: кабельний виріб, температура нагрівання, теплоємність.

Вступ. При оцінюванні пожежної безпеки кабельних виробів, доцільно визначити граничні та максимально допустимі температури нагріву. Гранично допустима температура нагріву кабельного виробу – найбільша температура, коли виріб повністю зберігає свої експлуатаційні характеристики. Гранично допустимі температури для кабельних виробів становлять [1]:

- для кабелів із паперовою просоченою ізоляцією напругою до 10 кВ - 200°C;
- для кабелів із паперовою просоченою ізоляцією напругою до 220 кВ - 125°C;
- для кабелів та ізольованих проводів з мідними та алюмінієвими жилами та ізоляцією:
 - полівінілхлоридної та гумової – 150°C;
 - поліетиленової – 120°C.

Максимально припустима температура нагріву кабелю або проводу – це температура, що становить 80% температури запалювання оболонки або ізоляції кабельного виробу. Дослідження показують, що для кабелів з оболонкою з ПВХ та гуми вона становить 120°C, для поліетилену – 104-108°C.

При підвищенні температури провідників, частин електрообладнання можливе розм'якшення та плавлення металу, випалювання ізоляції, руйнування контактів та інші руйнування [1-4]. Властивість обладнання (провідника) протистояти короточасному тепловому впливу струму без пошкоджень, що перешкоджають подальшій справній роботі, називається термічною стійкістю.

Критерієм термічної стійкості є кінцева температура, при цьому, максимальне значення кінцевої температури обмежується механічною міцністю металів, температурними деформаціями частин електрообладнання та теплостійкістю ізоляції провідників.

Значення кінцевих температур значно вище допустимих температур при нормальній роботі, оскільки зміна властивостей металів і ізоляції визначається не тільки температурою, але також тривалістю нагрівання. Допускаються значення кінцевих температури при короткому замиканні лежать у межах від 120°C до 300°C, у той час як допустимі температури провідників при нормальній роботі не перевищують 60-80°C.

Результати досліджень свідчать про те, що пожежна небезпека кабельних виробів характеризується здатністю ізоляції проводів до замикання від нагрівання струмопровідної жили, а також – здатністю утворювати у момент замикання розплавлені (гарячі) частинки провідникових матеріалів, що можуть створювати джерела загорянь та пожеж при розльоті на значні відстані.

Одним із основних небезпечних проявів електричного струму з погляду пожежної небезпеки є його теплова дія. Провідники, якими тече струм більший, ніж струм на який вони розраховані, перегріваються.

При цьому, можуть досягатися значення температури, які призводять до займання ізоляції кабельного виробу, що може спричинити пожежу. Температура струмопровідної жили кабельного виробу залежить від сили струму, що протікає, від температури навколишнього середовища, діаметра жили та ізоляції провідника, теплообміну з навколишнім середовищем, питомого опору матеріалу провідника, часу аварійного режиму роботи тощо.

Основна частина. На даний час використовується значна кількість моделей, використання яких дозволяє зробити оцінювання ступеня зносу ізоляції та старіння кабельних виробів [1-7]. В роботі [1] розглянуто модель у припущенні, що температура жили та ізоляції однакова по всій товщині провідника, який знаходиться у повітрі. Дана модель визначає зростання температури кабельних виробів з часом у процесі функціонування при врахуванні вищезазначених параметрів.

Кінцеве співвідношення має наступний вигляд:

$$T(t) = T_n + \frac{T_n}{\phi_2} \left[\phi_3 (\omega - 1)t + \phi_3^2 \omega (\omega - 1) \frac{t^2}{2!} + \phi_3^3 \omega (\omega - 1)(3\omega - 2) \frac{t^3}{3!} \right], \quad (1)$$

$$\omega = \frac{\delta_1 (\delta_3 + \delta_5)}{(1 + \delta_4)(\delta_6 - \delta_2)} + 1, \quad (2)$$

$$\phi_2 = \frac{\delta_3 + \delta_5}{1 + \delta_4}, \quad (3)$$

$$\phi_3 = \frac{\delta_6 - \delta_2}{1 + \delta_4}, \quad (4)$$

$$\delta_1 = \frac{I^2 \rho_{\text{жс}0}}{S_{\text{жс}}^2 \gamma_{\text{жс}} C_{\text{жс}0} T_n}, \quad (5)$$

$$\delta_2 = \frac{I^2 \rho_{\text{жс}0} \alpha}{S_{\text{жс}}^2 \gamma_{\text{жс}} C_{\text{жс}0}}, \quad (6)$$

$$\delta_3 = T_n \phi_{\text{жс}}, \quad (7)$$

$$\delta_4 = \frac{\gamma_{\text{із}} S_{\text{із}} C_{\text{із}0}}{\gamma_{\text{жс}} S_{\text{жс}} C_{\text{жс}0}}, \quad (8)$$

$$\delta_5 = \frac{\gamma_{\text{із}} S_{\text{із}} C_{\text{із}0} \phi_{\text{із}} T_n}{\gamma_{\text{жс}} S_{\text{жс}} C_{\text{жс}0}}, \quad (9)$$

$$\delta_6 = \frac{2\pi r_{\text{кв}} a}{\gamma_{\text{жс}} S_{\text{жс}} C_{\text{жс}0}}. \quad (10)$$

де I – сила струму, А;

l – довжина провідника, м;

$\rho_{\text{жс}0}$ – початкове значення питомого електричного опору матеріалу жили кабельного виробу, що відповідає початковому моменту часу $T = T_0$, Ом;

$S_{\text{жс}}$ – площа поперечного перерізу жили, м²;

$\gamma_{\text{із}}$ – щільність матеріалу ізоляції, кг/м³;

$S_{\text{із}}$ – площа поперечного перерізу ізоляції, м²;

$C_{\text{із}0}$ – початкове значення теплоємності матеріалу ізоляції, що відповідає початковому моменту часу $T = T_0$, Дж/град.;

$\gamma_{\text{жс}}$ – щільність матеріалу жили, кг/м³;

$C_{\text{жс}0}$ – початкове значення теплоємності матеріалу жили, що відповідає початковому моменту часу $T = T_0$, Дж/град.;

$r_{\text{кв}}$ – радіус кабельного виробу від центру жили до поверхні ізоляції, м;

a – коефіцієнт теплопередачі від ізоляції до повітря, Вт/м² град.;

T_n – температура повітря, град.;

$\alpha, \phi_{\text{жс}}, \phi_{\text{із}}$ – термічні коефіцієнти.

Співвідношення (1) із врахуванням спрощень (2)-(10) дозволяє оцінювати температуру нагріву кабельних виробів та проводити оцінку умов роботи як у режимі нормальної експлуатації, так і при аварійних режимах роботи електричної мережі. Співвідношення має у своєму складі велику кількість змінних, що дозволяє у перспективі застосовувати його для порівняльного аналізу можливостей застосування різних марок кабельних виробів [1].

Для ефективного використання наведеної моделі потрібно провести її удосконалення внаслідок наступних причин:

- у моделі значення не враховано зв'язок параметрів радіусу $r_{\text{кв}}$ та площі $S_{\text{із}}$ – їх значення задаються окремо;

- доцільно також визначити зв'язок радіусу $r_{\text{кв}}$ та радіусу жили $r_{\text{жс}}$ через товщину ізоляції $\Delta r_{\text{із}}$;

- в моделі значення не врахований зв'язок площі поперечного перерізу ізоляції $S_{\text{із}}$ та площі поперечного перерізу жили $S_{\text{жс}}$ – їх значення задаються окремо;

- значення площі поперечного перерізу ізоляції $S_{\text{із}}$ та площі поперечного перерізу жили $S_{\text{жс}}$ для спрощення подальшого аналізу доцільно виразити через $\Delta r_{\text{із}}$ та

радіусу жили $r_{жс}$.

Тоді можливо записати наступне:

$$S_{жс} = \pi r_{жс}^2, \quad (11)$$

$$r_{жв} = r_{жс} + \Delta r_{із}, \quad (12)$$

$$S_{жв} = \pi (r_{жс} + \Delta r_{із})^2. \quad (13)$$

$$S_{із} = S_{жв} - S_{жс} = \pi (\Delta r_{із}^2 + 2r_{жс} \Delta r_{із}). \quad (14)$$

Із врахуванням (11)-(14) формули (5)-(10) відповідно можливо записати як:

$$\delta_1 = \frac{I^2 \rho_{жс0}}{\pi^2 r_{жс}^4 \gamma_{жс} C_{жс0} T_n}, \quad (15)$$

$$\delta_2 = \frac{I^2 \rho_{жс0} \alpha}{\pi^2 r_{жс}^4 \gamma_{жс} C_{жс0}}, \quad (16)$$

$$\delta_3 = T_n \phi_{жс}, \quad (17)$$

$$\delta_4 = \frac{\gamma_{із} \pi (\Delta r_{із}^2 + 2r_{жс} \Delta r_{із}) C_{із0}}{\gamma_{жс} \pi r_{жс}^2 C_{жс0}}, \quad (18)$$

$$\delta_5 = \frac{\gamma_{із} \pi (\Delta r_{із}^2 + 2r_{жс} \Delta r_{із}) C_{із0} \phi_{із} T_n}{\gamma_{жс} \pi r_{жс}^2 C_{жс0}}, \quad (19)$$

$$\delta_6 = \frac{2\pi (r_{жс} + \Delta r_{із}) a}{\gamma_{жс} \pi r_{жс}^2 C_{жс0}}. \quad (20)$$

Висновки. В роботі запропоновано удосконалення моделі оцінки нагрівання кабельних виробів у процесі експлуатації. Використання удосконаленої моделі дозволить проводити порівнювальний аналіз впливу параметрів кабельних виробів на температуру їх нагрівання у процесі їх експлуатації при заданих значеннях струмів.

Список використаних джерел:

1. Малашенков Г. Н. (2007) *Пожарная опасность проводов и кабелей в предаварийных режимах работы электрических сетей*. Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук, АГПС МЧС России. 316 с.
2. Пугач В. Н., Поляков Д. А., Никитин К. И. & др. (2019) *Исследование влияния термической деструкции на срок службы изоляции кабелей* // Омский научный вестник. № 6 (168). С. 70–74. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-168-70-74.
3. Дубяго М. Н. (2018). *Разработка модели старения и определение остаточного ресурса изоляции силовых кабелей* // Известия ЮФУ. Технические науки. С. 107–114.
4. 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.
5. Катунін А. М., Олійник В. В., Кулаков О. В. & ін. (2022). *Удосконалення моделі теплового старіння ізоляції кабельних виробів* // INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL GRAIL OF SCIENCE. № 17. С. 181-185. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.22.07.2022.031>.
6. Катунін А. М., Кулаков О. В., Коломійцев О. В. & ін. (2022). *Оцінка терміну пожежобезпечної експлуатації ізоляції кабельних виробів* // Розвиток наукової думки постіндустріального суспільства: сучасний дискурс. м. Вінниця. Міжнародний центр наукових досліджень.

- Європейська наукова платформа. С. 122-126. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/15693>.
7. Катунін А. М., Роянов О. М. (2022). *Аналіз особливостей теплового старіння ізоляції кабельних виробів*. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки 2022» («Fire Safety Issues 2022»). Харків: НУЦЗ України. С. 20-21. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/16189>.
 8. Катунін А. М., Кожушко Я. М., Камак & ін. (2022). *Удосконалення моделі оцінювання терміну експлуатації ізоляції кабельних виробів зв'язку*. XI МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ “Актуальні питання забезпечення службово-бойової діяльності військових формувань та правоохоронних органів” Збірник тез доповідей. С.117-118. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/16185>.