


DOI 10.36074/grail-of-science.17.02.2023.036

## ОЦІНКА ВПЛИВУ СТРУМУ НАВАНТАЖЕННЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ НАГРІВАННЯ КАБЕЛЬНИХ ВИРОБІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ


НАУКОВО-ДОСЛІДНА ГРУПА:

Катунін Альберт Миколайович 

канд. техн. наук, ст. наук. спів.,

викладач 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*

Рудаков Сергій Валерійович 

канд. техн. наук, доцент,

доцент факультету пожежної безпеки

*Національний університет цивільного захисту України, Україна*

Панасенко Сергій Вікторович 

науковий співробітник – інженер-випробувач науково-дослідної лабораторії

*Державний науково-дослідний інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Україна*

**Анотація.** В роботі проведено оцінювання впливу струму навантаження на температуру нагрівання кабельних виробів у процесі експлуатації при різних значеннях товщини ізоляції. Проаналізовано особливості експлуатації даного кабельного виробу для різних значень струмів навантаження.

**Ключові слова:** кабельний виріб, температура нагрівання, товщина ізоляції, струм навантаження.

**Вступ.** На цей час темпи зростання ефективності виробництв супроводжуються підвищенням обсягів споживання електричної енергії, розвитком електричних мереж, збільшенням асортименту кабельних виробів.

Забезпечення безпеки при експлуатації електричних мереж є одним з пріоритетів.

Одним із основних небезпечних проявів електричного струму з погляду пожежної безпеки є його теплова дія [1-3]. 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 [1-4]. Температура 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 [4]. Тому оцінка нагрівання кабельних виробів у процесі експлуатації є актуальною задачею забезпечення пожежної безпеки.

**Основна частина.** В роботі [4] запропоновано удосконалення моделі оцінки нагрівання кабельних виробів у процесі експлуатації. Співвідношення має наступний вигляд:

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

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

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

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

$$\delta_1 = \frac{I^2 \rho_{\text{ж}0}}{\pi^2 r_{\text{ж}}^4 \gamma_{\text{ж}} C_{\text{ж}0} T_n}, \quad (5)$$

$$\delta_2 = \frac{I^2 \rho_{\text{ж}0} \alpha}{\pi^2 r_{\text{ж}}^4 \gamma_{\text{ж}} C_{\text{ж}0}}, \quad (6)$$

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

$$\delta_4 = \frac{\gamma_{\text{із}} \pi (\Delta r_{\text{із}}^2 + 2r_{\text{ж}} \Delta r_{\text{із}}) C_{\text{із}0}}{\gamma_{\text{ж}} \pi r_{\text{ж}}^2 C_{\text{ж}0}}, \quad (8)$$

$$\delta_5 = \frac{\gamma_{\text{із}} \pi (\Delta r_{\text{із}}^2 + 2r_{\text{ж}} \Delta r_{\text{із}}) C_{\text{із}0} \phi_{\text{із}} T_n}{\gamma_{\text{ж}} \pi r_{\text{ж}}^2 C_{\text{ж}0}}, \quad (9)$$

$$\delta_6 = \frac{2\pi (r_{\text{ж}} + \Delta r_{\text{із}}) a}{\gamma_{\text{ж}} \pi r_{\text{ж}}^2 C_{\text{ж}0}}. \quad (10)$$

де  $I$  – сила струму, А;

$l$  – довжина провідника, м;

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

$S_{\text{ж}}$  – площа поперечного перерізу жили, м<sup>2</sup>;

$\gamma_{\text{із}}$  – щільність матеріалу ізоляції, кг/м<sup>3</sup>;

$S_{із}$  – площа поперечного перерізу ізоляції,  $m^2$ ;

$C_{із0}$  – початкове значення теплоємності матеріалу ізоляції, що відповідає начальному моменту часу  $T = T_0$ , Дж/град.;

$\gamma_{ж}$  – щільність матеріалу жили,  $kg/m^3$ ;

$C_{ж0}$  – початкове значення теплоємності матеріалу жили, що відповідає начальному моменту часу  $T = T_0$ , Дж/град.;

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

$a$  – коефіцієнт теплопередачі від ізоляції до повітря,  $Wt/m^2 \text{ град}$ ;

$T_n$  – температура повітря, град.;

$\alpha, \varphi_{ж}, \varphi_{із}$  – термічні коефіцієнти.

Модель дозволяє проводити аналіз впливу параметрів кабельних виробів на температуру їх нагрівання в процесі їх експлуатації при заданих значеннях струмів навантаження.

Відповідні оцінки здійснимо для проводу марки ПВ (1х2,5). Для часу навантаження  $t = 300$  с та струмів  $I = 30...60$  А використаємо наступні вхідні дані:

$$r_{ж} = 8,9 \times 10^{-4} \text{ м};$$

$$\Delta r_{із} = 7 \times 10^{-4}; 10^{-3}; 1,3 \times 10^{-3} \text{ м};$$

$$\varphi_{ж} = 0,000257;$$

$$\varphi_{із} = 0,0003;$$

$$\gamma_{із} = 1350 \text{ кг/м}^3;$$

$$\gamma_{ж} = 8960 \text{ кг/м}^3;$$

$$C_{ж} = 373 \text{ Дж/град};$$

$$C_{із} = 1200 \text{ Дж/град};$$

$$a = 0,003 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\alpha = 0,00433;$$

$$T_n = 20^\circ\text{C};$$

$$\rho_{ж0} = 0,0000000189 \text{ Ом}.$$

Відповідні графіки часових залежностей температури нагрівання проводу марки ПВ (1х2,5) для заданих значень товщини слою ізоляції при різних значеннях струму навантаження наведено на рис. 1- 3.

Аналіз отриманих графіків дозволяє сформулювати наступні висновки:

- температура нагрівання проводу в процесі експлуатації для всіх заданих значень товщини слою ізоляції суттєво залежить від струму навантаження;

- для всіх значень струму навантаження температурно-часові характеристики експлуатації проводу ідентичні та мають нелінійний характер;

- з часом вплив струму навантаження на підвищення температури проводу в процесі нагрівання посилюється для всіх значень товщини ізоляції: так при експлуатації проводу із товщиною ізоляції  $\Delta r_{із} = 7 \times 10^{-4}$  м він за 100 с нагрівається до значень температури  $56,5^\circ\text{C}$ ;  $81,1^\circ\text{C}$ ;  $108,5^\circ\text{C}$ ;  $136,9^\circ\text{C}$ ; за 200 с – до значень температури  $87,6^\circ\text{C}$ ;  $126,9^\circ\text{C}$ ;  $166,7^\circ\text{C}$ ;  $208,3^\circ\text{C}$ ; за 300 с – до значень температури  $114,1^\circ\text{C}$ ;  $162,9^\circ\text{C}$ ;  $213,8^\circ\text{C}$ ;  $290,4^\circ\text{C}$  для струмів навантаження  $I = 30$ ; 40; 50; 60 А відповідно (рис. 1);

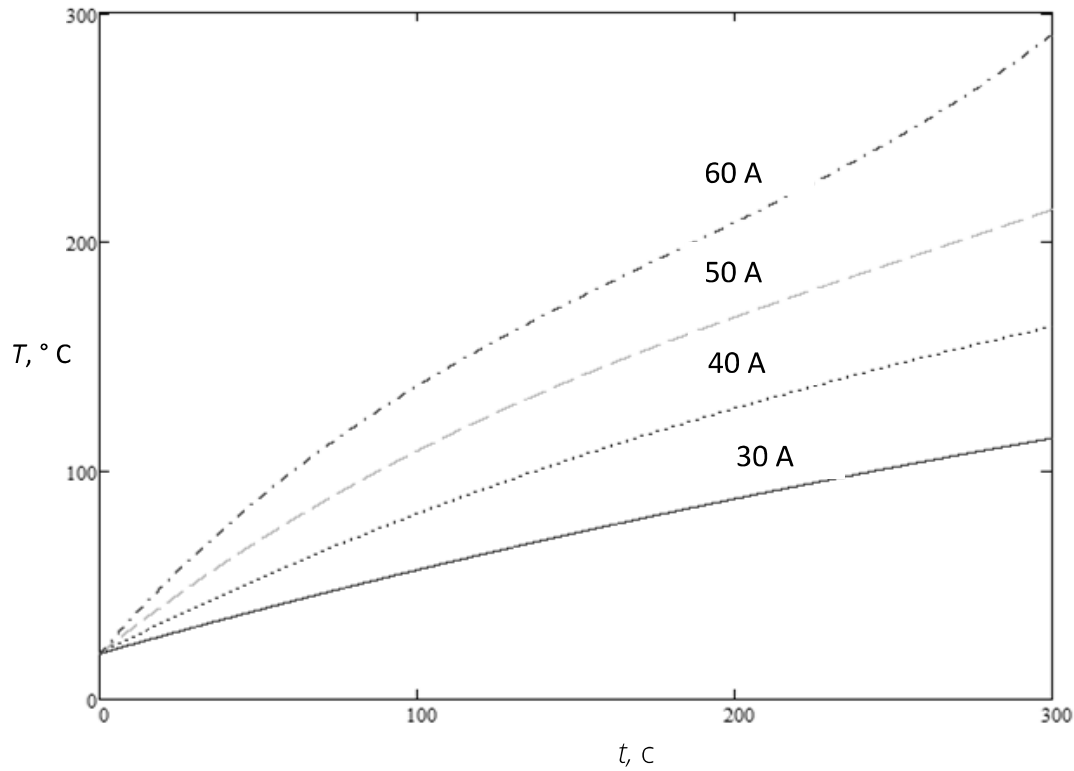


Рис. 1. Температурно-часова характеристика експлуатації проводу ПВ (1х2,5) для товщини ізоляції  $\Delta r_{iz} = 7 \times 10^{-4}$  м та струмів навантаження  $I = 30; 40; 50; 60$  А.

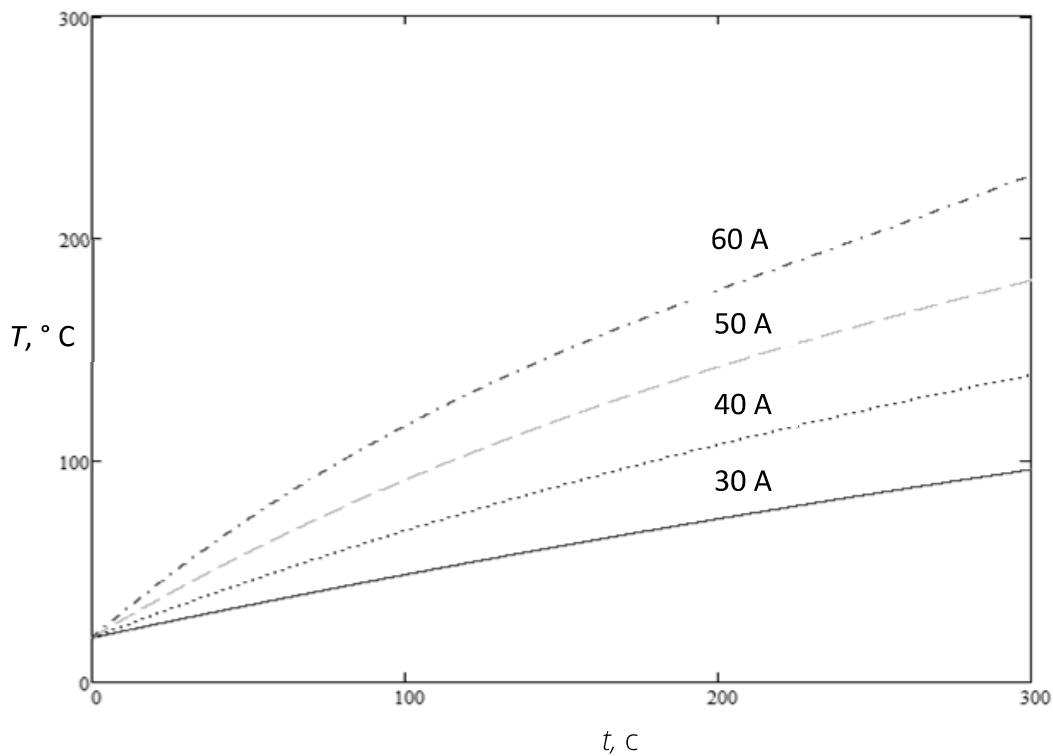


Рис. 2. Температурно-часова характеристика експлуатації проводу ПВ (1х2,5) для товщини ізоляції  $\Delta r_{iz} = 10^{-3}$  м та струмів навантаження  $I = 30; 40; 50; 60$  А.

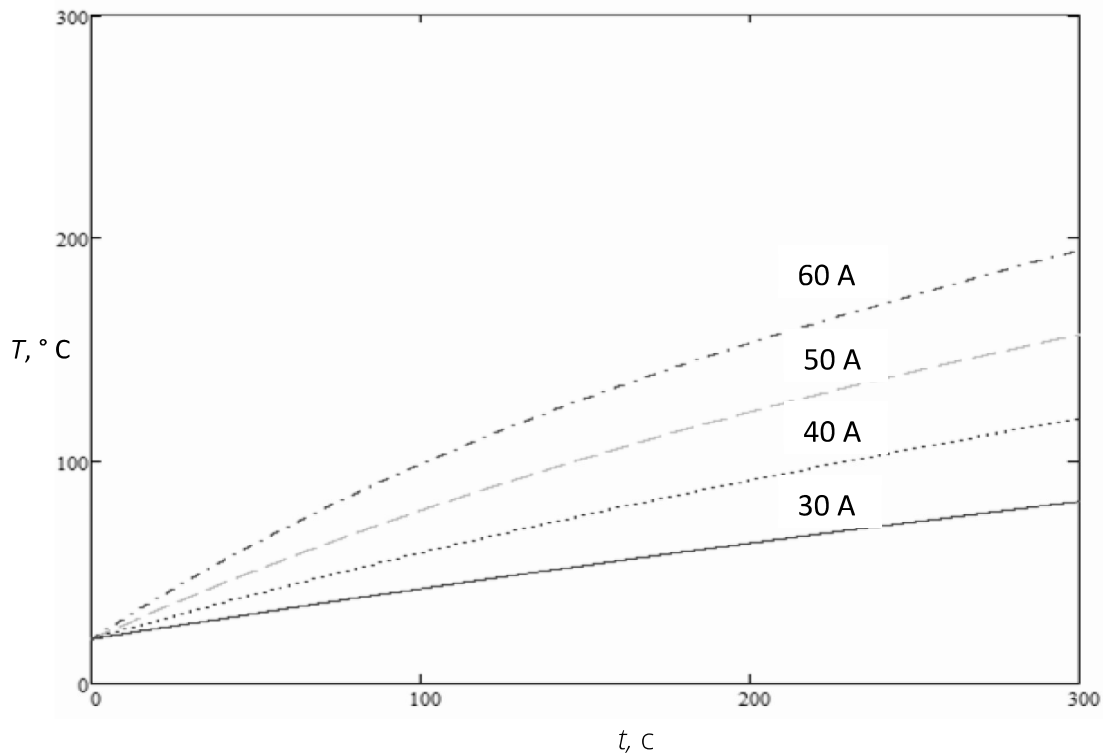


Рис. 3. Температурно-часова характеристика експлуатації проводу ПВ (1х2,5) для товщини ізоляції  $\Delta r_{із} = 1,3 \times 10^{-3}$  м та струмів навантаження  $I = 30; 40; 50; 60$  А.

- збільшення товщини ізоляції проводу  $\Delta r_{із}$  дозволяє знижувати вимоги до обмеження значень струмів навантаження  $I$  в процесі експлуатації: так при експлуатації проводу із товщиною ізоляції  $\Delta r_{із} = 7 \times 10^{-4}$  м він за 200 с нагрівається до значень температури 87,6°C; 126,9°C; 166,7°C; 208,3°C (рис. 1); із товщиною ізоляції  $\Delta r_{із} = 10^{-3}$  м – до значень температури 73,5°C; 106,9°C; 141,9°C; 176,6°C (рис. 2); із товщиною ізоляції  $\Delta r_{із} = 1,3 \times 10^{-3}$  м – до значень температури 63,0°C; 91,2°C; 121,8°C; 152,7°C (рис. 3) для струмів навантаження  $I = 30; 40; 50; 60$  А відповідно;

- з часом вплив товщини ізоляції  $\Delta r_{із}$  на підвищення температури проводу в процесі нагрівання посилюється.

**Висновки.** В роботі на основі математичного моделювання отримано графіки часових залежностей температури нагрівання кабельного виробу - проводу марки ПВ (1х2,5) для заданих значень товщини слою ізоляції при різних значеннях струму навантаження. Для часу навантаження  $t = 300$  с проаналізовано особливості експлуатації кабельного виробу для різних значень струмів навантаження.

#### Список використаних джерел:

- [1] 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 (липень, 2022). - С. 181-185. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/15692>.

- [2] 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, 2022 р. / Міжнародний центр наукових досліджень. — Вінниця: Європейська наукова платформа, 2022. - С. 122-126. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/15693>.
- [3] Катунін А.М., Роянов О.М. Аналіз особливостей теплового старіння ізоляції кабельних виробів // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки 2022» («Fire Safety Issues 2022»). – Х.: НУЦЗ України, 2022. – С.20-21. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/16189>.
- [4] Катунін А. М., Коломійцев О. В., Олійник В.В. & ін. (2023). Удосконалення моделі оцінки нагрівання кабельних виробів у процесі експлуатації // Матеріали III Міжнародної наукової конференції «Міжгалузеві диспути: динаміка та розвиток сучасних наукових досліджень». м. Хмельницький, Україна . С. 164-167.