


DOI 10.36074/grail-of-science.09.06.2023.22


ОЦІНКА ВПЛИВУ МАТЕРІАЛУ ІЗОЛЯЦІЇ ПРОВоду НА ЙОГО ТЕМПЕРАТУРУ НАГРІВАННЯ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ГРУПА:

Катунін Альберт Миколайович 

канд. техн. наук, ст. наук. спів.,
доцент факультету пожежної безпеки

Національний університет цивільного захисту України, Україна

Коломійцев Олексій Володимирович 

д-р техн. наук, професор, Заслужений винахідник України,
професор кафедри комп'ютерна інженерія та програмування
Національний технічний університет «Харківський політехнічний
інститут», Україна

Лазня Олексій Олексійович 

начальник науково-дослідної лабораторії
(науково-технічного супроводження ракетно-артилерійського
озброєння)

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії, Україна

Кожушко Микола Іванович 

науковий співробітник
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Україна

Анотація. В роботі проведено оцінювання впливу матеріалу ізоляції проводу на його температуру нагрівання в процесі експлуатації. Визначено діапазони підвищення температури проводу в процесі експлуатації для проводу з ізоляцією з поліетилену, ПВХ, емалі та гуми.

Ключові слова: провід, температура нагрівання, матеріал ізоляції, товщина ізоляції, струм навантаження, температурно-часова характеристика експлуатації.

Вступ. Питання підвищення пожежної безпеки кабельної продукції стало особливо актуальним в умовах російського вторгнення в Україну, коли вся енергосистема країни функціонує в режимі перевантаження внаслідок ударів по відповідним об'єктам енергосистеми. Для забезпечення рівня пожежної безпеки кабельних виробів застосовуються такі ізолюючі матеріали, які при

нагріванні та горінні не виділяють шкідливих речовин для людини та навколишнього середовища.

Кабелі та проводи, якими тече струм більший, ніж струм на який вони розраховані, нагріваються та при цьому можуть досягатися значення температури, які призводять до займання ізоляції, що може спричинити пожежу [1-2]. В якості ізоляції використовуються діелектричні матеріали, зокрема – поліетилен, ПВХ, емалі та гума, які можуть горіти або підтримувати горіння. Тому на практиці для визначення пожежної безпеки важливо оцінити температуру, до якої розігріється кабельний виріб до моменту спрацьовування апаратів захисту.

Таким чином, оцінка впливу матеріалу ізоляції проводу на його температуру нагрівання в процесі експлуатації є актуальною задачею забезпечення пожежної безпеки.

Основна частина. В роботах [3,4] запропоновано та апробовано удосконалену моделі оцінки нагрівання кабельних виробів у процесі експлуатації. Як показано, дану модель можливо застосовувати при розрахунках температурно-часових характеристик експлуатації проводу.

Вираз має наступний вигляд:

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

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

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

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

$$\delta_1 = \frac{I^2 \rho_{ж0}}{\pi^2 r_{ж}^4 \gamma_{жс} C_{жс0} T_n}, \quad (5)$$

$$\delta_2 = \frac{I^2 \rho_{ж0} \alpha}{\pi^2 r_{ж}^4 \gamma_{жс} C_{жс0}}, \quad (6)$$

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

$$\delta_4 = \frac{\gamma_{із} \pi (\Delta r_{із}^2 + 2r_{жс} \Delta r_{із}) C_{із0}}{\gamma_{жс} \pi r_{жс}^2 C_{жс0}}, \quad (8)$$

$$\delta_5 = \frac{\gamma_{із} \pi (\Delta r_{із}^2 + 2r_{жс} \Delta r_{із}) C_{із0} \phi_{жс} T_n}{\gamma_{жс} \pi r_{жс}^2 C_{жс0}}, \quad (9)$$

$$\delta_6 = \frac{2\pi (r_{жс} + \Delta r_{із}) a}{\gamma_{жс} \pi r_{жс}^2 C_{жс0}}. \quad (10)$$

де I – сила струму, А;

$\rho_{ж0}$ – початкове значення питомого електричного опору матеріалу жили кабельного виробу, що відповідає початковому моменту часу $T = T_0$, Ом;

$r_{жс}$ – радіус поперечного перерізу жили, м;

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

$\Delta r_{із}$ – товщина слою ізоляції, м;

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

$\gamma_{ж}$ – щільність матеріалу жили, кг/м^3 ;

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

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

T_n – температура повітря, град. ;

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

Модель (1)-(10) дозволяє проводити аналіз впливу параметрів кабельних виробів, зокрема матеріалу ізоляції, на температуру їх нагрівання в процесі їх експлуатації при заданих значеннях струмів навантаження.

Відповідні оцінки здійснимо для проводу з номінальним перерізом мідної жили $1,5 \text{ мм}^2$ для значення товщини слою ізоляції $7 \times 10^{-4} \text{ м}$.

Для часу навантаження $t = 300 \text{ с}$ та струму $I = 30 \text{ А}$ використаємо наступні вхідні дані:

$$r_{ж} = 6,91 \times 10^{-4} \text{ м};$$

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

$$\varphi_{ж} = 0,000257;$$

$$\gamma_{ж} = 8960 \text{ кг/м}^3;$$

$$C_{ж} = 373 \text{ Дж/град};$$

$$C_{із} = 1200 \text{ Дж/град};$$

$$a = 0,003 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\alpha = 0,00433;$$

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

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

Параметри $\gamma_{із}$, $\varphi_{із}$ та $C_{із}$ визначаються матеріалом ізоляції згідно табл.1.

В табл.1 слід звернути увагу на величину теплопровідності матеріалів таблиці, оскільки цей параметр, поруч із їх щільністю, є найважливішим. Теплопровідність ізоляційних матеріалів істотно залежить від густини. При зменшенні густини зменшується теплопровідність матеріалу, тому низька теплопровідність властива пористим і легким матеріалам.

Таблиця 1

Параметри матеріалів ізоляції

Матеріал	Густина, кг/м^3	Теплопровідність, $\text{Вт/(м}\cdot\text{град)}$	Теплоємність, $\text{Дж/(кг}\cdot\text{град)}$
Емаль	1030 ... 2045	0,18...0,4	650...2000
Полівінілхлорид (ПВХ)	1400 ... 1600	0,15...0,2	-
Поліхлорвініл	1290 ... 1650	0,15	1130 ... 1200
Поліетилен високої щільності	955	0,35...0,48	1900 ... 2300
Поліетилен низької щільності	920	0,25...0,34	1700
Гума м'яка	-	0,13...0,16	1380
Гума тверда звичайна	900 ... 1200	0,16...0,23	1350 ... 1400
Гума пориста	160 ... 580	0,05...0,17	2050
Смола епоксидна	1260 ... 1390	0,13...0,2	1100

Оцінювання зробимо для наступних матеріалів ізоляції: поліетилену, ПВХ, емалі та гуми.

Аналіз наведених графіків, отриманих в програмному пакеті MANTCAD згідно (1) та представлених на рис. 1 – 4, дозволяє сформулювати наступні висновки відносно впливу різних матеріалів ізоляції проводу на температуру його нагрівання в процесі експлуатації:

- температура нагрівання проводу в процесі експлуатації суттєво залежить від матеріалу ізоляції;

- температурно-часові характеристики експлуатації проводу із різними матеріалами ізоляції мають схожий та нелінійний характер;

- найменші значення температури зафіксовані при використанні в якості матеріалу ізоляції емалі, найбільші – при використанні в якості матеріалу ізоляції гуми (рис. 1 – 4);

- діапазон підвищення температури проводу з номінальним перерізом мідної жили $1,5 \text{ мм}^2$ в процесі експлуатації 300 с при навантаженні $I = 30 \text{ А}$ для ізоляції з поліетилену відповідає наступним значенням – $20,0...169,6^\circ\text{C}$ (рис. 1); для ізоляції з ПВХ – $20,0...189,9^\circ\text{C}$ (рис. 2); для ізоляції з емалі – $20,0...128,5^\circ\text{C}$ (рис. 3); для ізоляції з гуми – $20,0...210,7^\circ\text{C}$ (рис. 4).

Для практичного використання отримані результати моделювання необхідно доповнити значеннями допустимих температур проводу при короткому замиканні для прийняття рішень щодо доцільності застосування конкретного кабельного виробу в заданих умовах експлуатації.

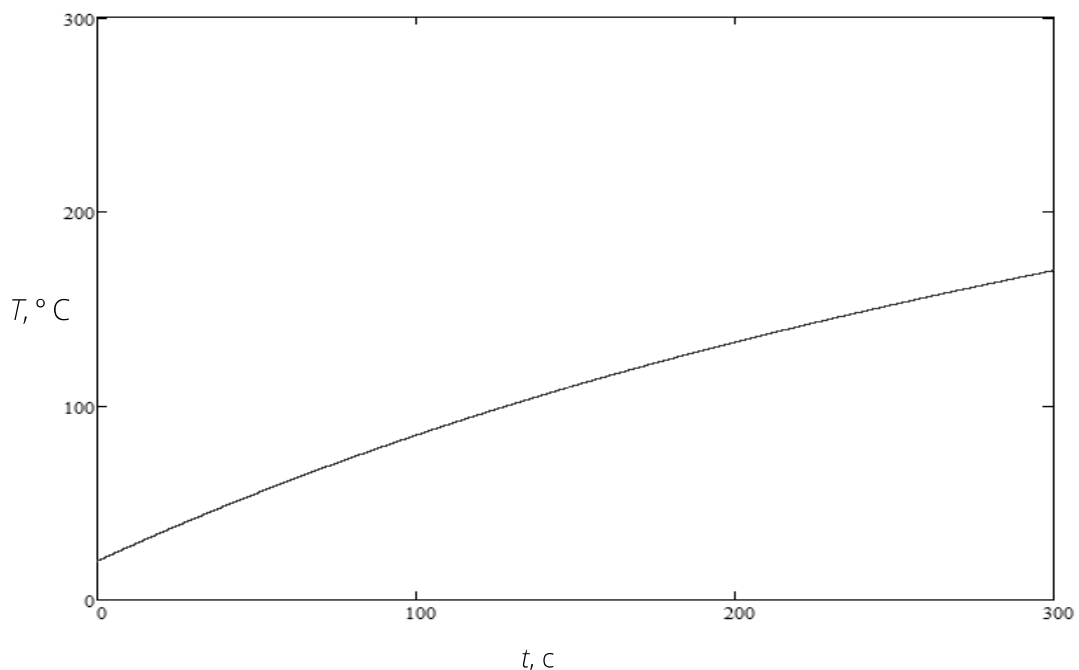


Рис. 1. Температурно-часова характеристика експлуатації проводу з ізоляцією з поліетилену для струму навантаження $I = 30 \text{ А}$ при товщині ізоляції $\Delta r_{\text{із}} = 7 \times 10^{-4} \text{ м}$

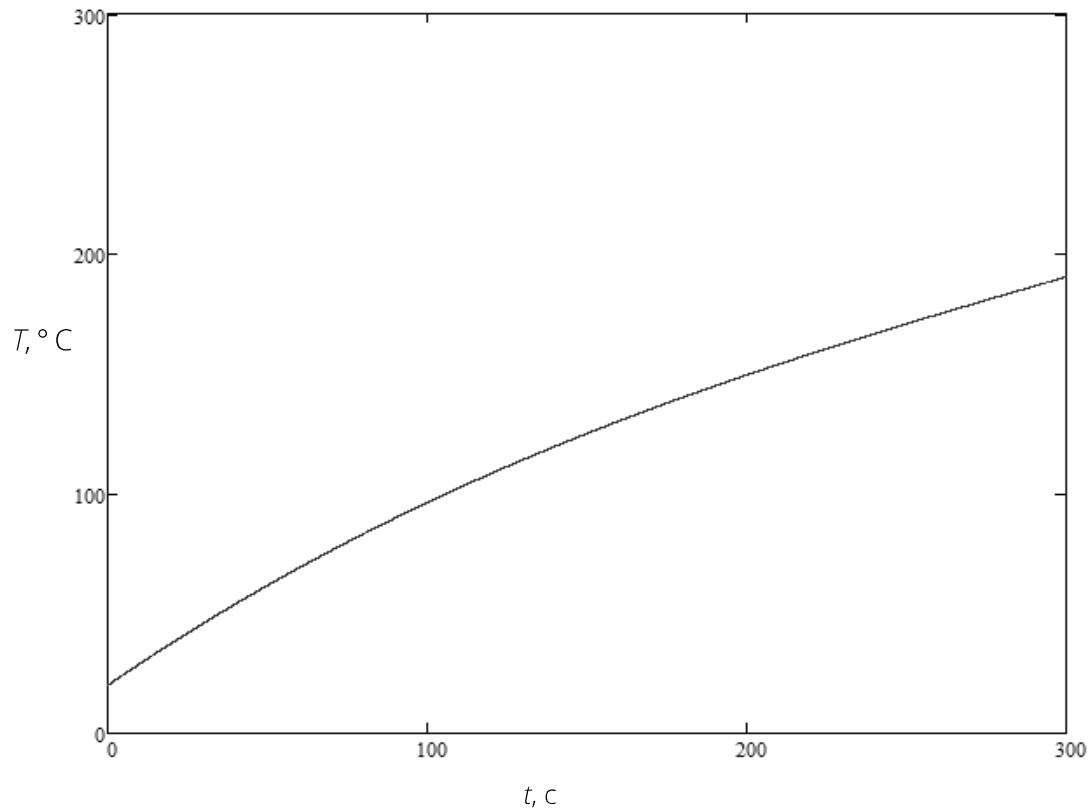


Рис. 2. Температурно-часова характеристика експлуатації проводу з ізоляцією з ПВХ для струму навантаження $I = 30 \text{ А}$ при товщині ізоляції $\Delta r_{\text{із}} = 7 \times 10^{-4} \text{ м}$

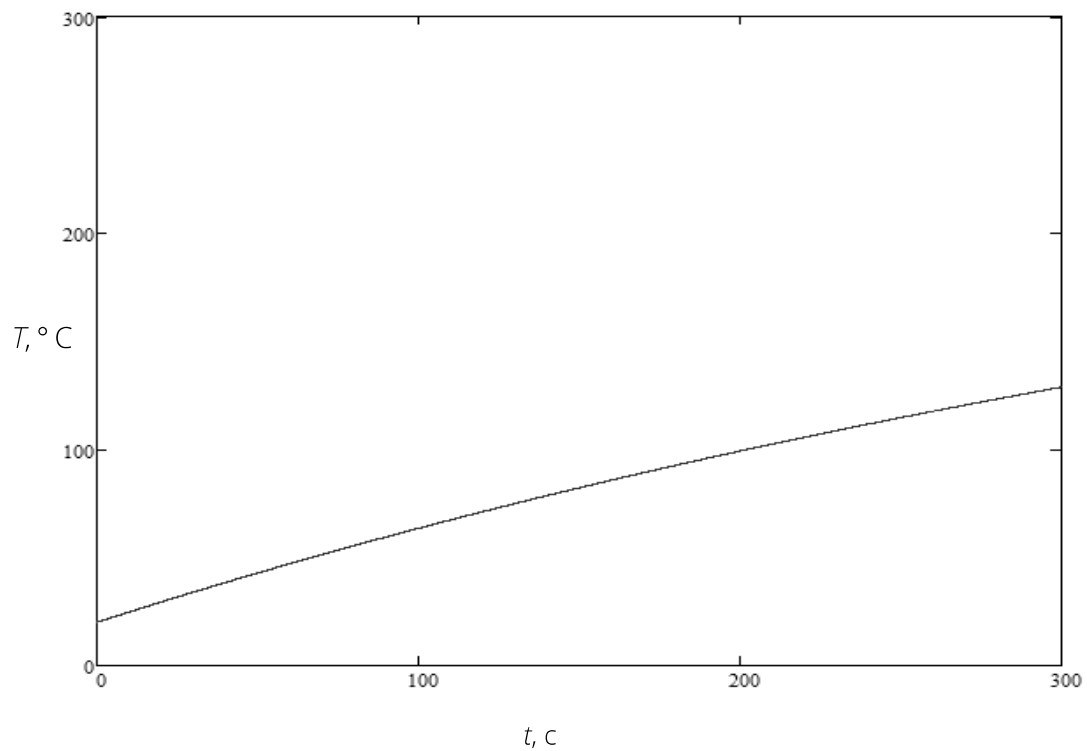


Рис. 3. Температурно-часова характеристика експлуатації проводу з ізоляцією з емалі для струму навантаження $I = 30 \text{ А}$ при товщині ізоляції $\Delta r_{\text{із}} = 7 \times 10^{-4} \text{ м}$

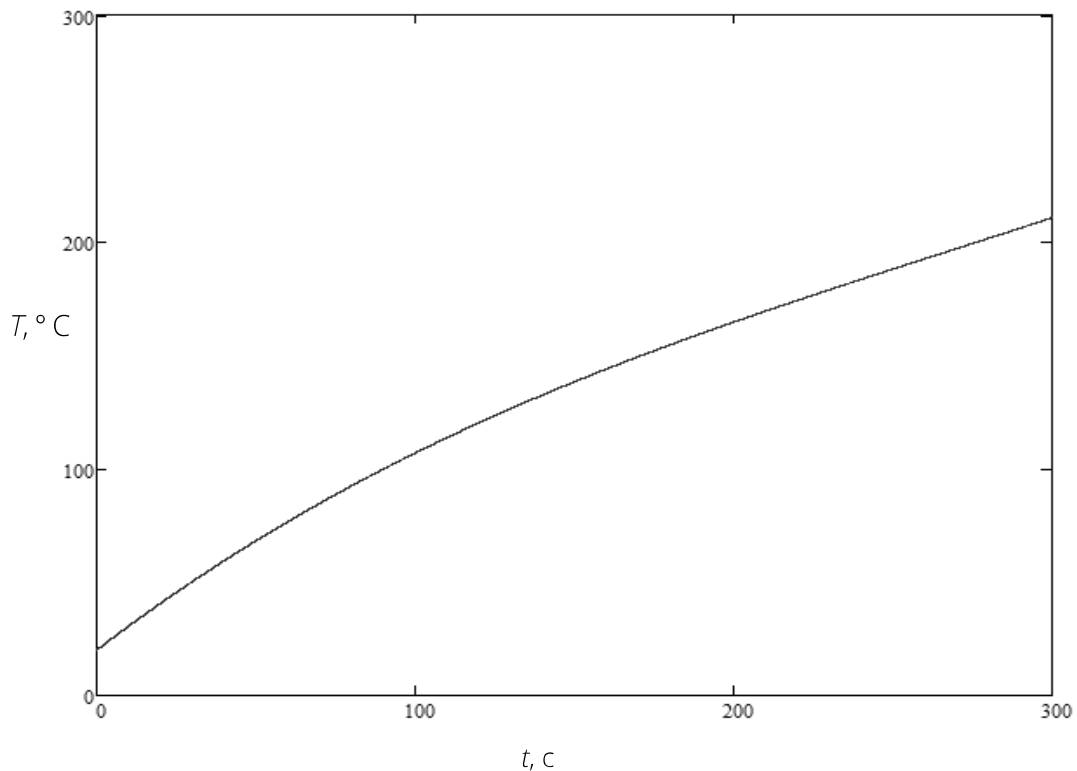


Рис. 4. Температурно-часова характеристика експлуатації проводу з ізоляцією з гуми для струму навантаження $I = 30$ А при товщині ізоляції $\Delta r_{із} = 7 \times 10^{-4}$ м

Висновки. В даній роботі на шляхом математичного моделювання отримано температурно-часові характеристики експлуатації проводу з номінальним перерізом мідної жили $1,5 \text{ мм}^2$ для заданого слою товщини ізоляції.

Визначено діапазони підвищення температури проводу в процесі експлуатації протягом 300 с при навантаженні $I = 30$ А для проводу з ізоляцією з поліетилену, ПВХ, емалі та гуми.

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., 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>.
- [3] 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.
- [4] Катунін А.М., Кулаков О.В., Рудаков С.В. & ін. (2023). Оцінка впливу струму навантаження на температуру нагрівання кабельних виробів у процесі експлуатації // INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL GRAIL OF SCIENCE. № 24 (лютий, 2023). – С. 210-215.