

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**



**МАТЕРІАЛИ  
3-ї Міжнародної науково-практичної конференції  
«Проблеми пожежної безпеки 2024»  
(«Fire Safety Issues 2024»)**



**ХАРКІВ 2024**

## МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНКИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ РОБОТИ НАВАНТАЖЕНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРОВІДУ З ПОДВІЙНОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ

Згідно статистичних даних [1] про пожежі в Україні серед електротехнічних виробів за пожежною небезпекою кабельна продукція посідає перше місце (до 60% пожеж, 20% загиблих і 70% прямих матеріальних збитків). Під час експлуатації властивості ізоляційних матеріалів погіршуються, внаслідок чого відбувається, зокрема, зменшення максимально допустимого струмового навантаження кабельних виробів.

В роботі [2] для оцінки пожежної безпеки роботи навантаженого електричного проводу з одношаровою ізоляцією (незахищеного електричного проводу) побудовано математичну модель. Враховано властивості конструктивних елементів електричного проводу, струмове навантаження та умови навколишнього середовища.

Побудуємо математичну модель для більш складного випадку – навантаженого електричного проводу з подвійною ізоляцією (захищеного електричного проводу, рис. 1)

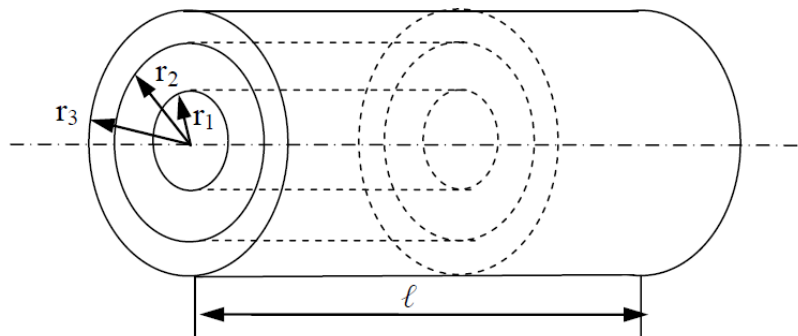


Рис. 1 - Провід з подвійною ізоляцією

В роботі [2] (формула (5)) отримано співвідношення між силою струму  $I$ , що протікає по електричному проводу, та іншими параметрами, що впливають на його роботу:

$$I = \sqrt{\frac{S}{\rho} \cdot \frac{t_1 - t_{\text{н}}}{R_{\ell}}} \quad (1)$$

де  $S = \pi \cdot r_1^2$  - поперечний переріз струмопровідної жили, м<sup>2</sup>;  $r_1$  - радіус струмопровідної жили, м;  $\rho$  - питомий електричний опір матеріалу струмопровідної жили, Ом·м;  $t_1$  - температура струмопровідної жили, К;  $t_{\text{н}}$  - температура повітря навколишнього середовища, К;  $R_{\ell} = R_{\lambda, \ell} + R_{\alpha, \ell}$  - лінійний термічний опір теплопередачі від поверхні електричного проводу до повітря навколишнього середовища, К·м/Вт.  $R_{\lambda, \ell}$  - лінійний термічний опір теплопровідності електричного проводу, К·м/Вт;  $R_{\alpha, \ell}$  - лінійний термічний опір конвекційної тепловіддачі від зовнішньої поверхні електричного проводу до повітря, К·м/Вт.

Лінійний термічний опір теплопровідності електричного проводу визначимо за формулою:

$$R_{\lambda,\ell} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_2} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_3} \cdot \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right), \quad (2)$$

где  $\lambda_2$  – коефіцієнт теплопровідності першого шару ізоляційного матеріалу електричного проводу, Вт/К/м;  $\lambda_3$  – коефіцієнт теплопровідності другого шару ізоляційного матеріалу електричного проводу, Вт/К/м;  $r_2$  – радіус першого шару ізоляційного матеріалу електричного проводу, м;  $r_3$  – радіус другого шару ізоляційного матеріалу електричного проводу, м.

Лінійний термічний опір конвекційної тепловіддачі від зовнішньої поверхні електричного проводу до повітря визначимо за формулою:

$$R_{\alpha,\ell} = \frac{1}{2\pi \cdot r_3 \cdot \alpha} = \frac{1}{\pi \cdot \lambda_{\text{п}} \cdot \text{Nu}} \approx \frac{1}{\pi \cdot \lambda_{\text{п}} \cdot \text{Nu}_0} \left( 1 - \frac{\partial \ln(\text{Nu})}{\partial r} \Big|_{r=r_2} \cdot \delta \right), \quad (3)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні електричного проводу, Вт/К/м;  $\lambda_{\text{п}}$  – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/К/м;  $\text{Nu}$  – число Нуссельта процесу конвекційної теплопередачі між повітрям і поверхнею електричного проводу з радіусом  $r_2$ ;  $\text{Nu}_0$  – число Нуссельта процесу конвекційної теплопередачі між повітрям і поверхнею електричного проводу з радіусом  $r_3$ ;  $\delta = r_3 - r_2$ , м.

Число Нуссельта визначимо з рівняння, яке у випадку вільної конвекції має наступний вид:

$$\text{Nu} = C \cdot (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^n, \quad (4)$$

де  $C$ ,  $n$  – сталі величини;  $\text{Gr}$  – число Грасгофа;  $\text{Pr}$  – число Прандтля.

Добуток чисел Грасгофа  $\text{Gr}$  та Прандтля  $\text{Pr}$  залежить від параметрів повітря, різниці температур між поверхнею електричного проводу й повітрям та радіуса електричного проводу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Статистика пожеж // Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту. URL: <http://undicz.dsns.gov.ua>.
2. Kulakov O., Kustov M., Katunin A., Roianov O. Investigation of the Impact Properties of the Material of the Isolation on the Parameters of the Loaded Cable Lines. Key Engineering Materials, 2023. Vol. 954. P. 125-133.

*Oleg Kulakov, Ph.D (Technical sciences), Associate Professor,  
National University of Civil Protection of Ukraine*

### **MODEL FOR EVALUATION THE FIRE SAFETY OF A LOADED DOUBLE-INSULATED ELECTRIC WIRE**

A model for the fire safe operation of a loaded double-insulated electric wire has been proposed. The obtained mathematical relation will allow determining the maximum permissible current load of a double-insulated electric wire depending on the materials and thickness of the insulation layers.