

*В.І. Гудим, д-р техн. наук, професор, М.М. Семерак, д-р техн. наук, професор, А.Ф. Гаврилюк
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ НАГРІВАННЯ ІЗОЛЬОВАНИХ ПРОВІДНИКІВ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ДІЇ МИТТЄВИХ ТЕПЛОВИХ ІМПУЛЬСІВ

Проаналізовано основні електротехнічні причини виникнення пожеж на автотранспортних засобах. Одержано аналітичну залежність зміни температури нагрівання ізольованого провідника при дії миттєвих теплових імпульсів, викликаних іскровими розрядами, з врахуванням теплофізичних характеристик та геометричних розмірів провідника. Наведено залежності зміни температури провідника від енергії іскрового розряду та його конструктивних параметрів. Результати чисельних експериментів наведено у вигляді графічних залежностей.

Ключові слова: пожежа, іскрові розряди, бортова електромережа, миттєвий тепловий імпульс, енергія іскри, автотранспортні засоби.

В.И. Гудым, М.М. Семерак, А.Ф. Гаврилюк

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДНИКОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ДЕЙСТВИИ МГНОВЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

Проанализированы основные электротехнические причины возникновения пожаров на автотранспортных средствах. Получена аналитическая зависимость изменения температуры нагрева изолированного проводника при воздействии мгновенных тепловых импульсов вызванных искровыми разрядами с учетом теплофизических характеристик и геометрических размеров проводника. Приведены зависимости изменения температуры проводника от энергии искрового разряда и конструктивных параметров проводника. Результаты многочисленных экспериментов приведены в виде графических зависимостей.

Ключевые слова: пожар, искровые разряды, бортовая электросеть, мгновенный тепловой импульс, энергия искры, автотранспортные средства.

V. Gudym, M. Semerak, A. Gavryluk

RESEARCH OF TRANSIENT HEATING OF INSULATED CONDUCTORS IN ELECTRICAL SYSTEMS OF VEHICLES AFFECTED BY INSTANT HEAT IMPULSES

The main electrical causes of vehicle fires have been analyzed. We have got the analytic dependence of the insulated wire heating temperature change involving the instant heat impulses, caused by electrical sparks with taking the thermal and physical characteristics and geometrical dimensions of the wire into account. It shows dependences of changing the temperature of wire from its design parameters and energy of the spark discharge. The results of numerical experiments are given in the form of graphic reproduction.

Key words: fire, spark discharges, on board electrical grid, instant heat impulse, spark energy, vehicles.

Вступ. В останнє десятиліття XXI століття із 7 млн. пожеж, які реєструвалися у світі щорічно, 18% припадає на пожежі транспортних засобів, які ідуть другими після пожеж в житлових будівлях [1]. Однією із причин виникнення пожеж на транспортних засобах є нагрівання провідників бортових електромереж, яке спричинене струмами перенавантаження або короткого замикання, а також іскрінням, яке може утворюватися за різних причин [2]. До таких причин можна віднести пошкодження струмоведучої частини провідника через механічні пошкодження, перенавантаження, режим «поганого» контакту, а також при комутації електричної мережі, що містить реактивні параметри – індуктивність та ємність. Нерідко час експлуатації транспортних засобів стаються внутрішні, невидимі розриви струмопровідної жили, яка знаходиться всередині ізоляції, внаслідок чого у місці розриву виникають іскри з достатньо високою енергією, яка здатна нагріти провідник та ізоляцію до температур, які за певних умов можуть створити пожежу. Нагрівання провідника стається і внаслідок короткого замикання, в результаті чого провіднику надається миттєвий тепловий імпульс.

В зв'язку з цим виникає задача визначення оцінки температури нагрівання ізольованого провідника у місцях виникнення внутрішніх іскор, що є важливою і актуальною технічною задачею.

Постановка задачі. Час іскрового розряду вимірюється долями секунди, що створює складність проведення експериментальних досліджень, тому дослідження таких розрядів доцільно здійснювати шляхом математичного моделювання. Точність і достовірність отриманих результатів у значній мірі залежать від адекватності математичної моделі в сенсі врахування параметрів мережі та характеристики іскрових розрядів, а також вибору методу інтегрування.

Особливості такого підходу полягають в тому, що необхідно сформулювати математичну модель на основі законів теорії електричних кіл та теорії передачі тепла.

Враховуючи складність задачі формування вказаної математичної моделі для аналізу електротеплових процесів, необхідно прийняти певні допущення. Вважаємо, що матеріали провідника та ізоляції є ізотропними, тобто володіють однаковими тепловими та електричними властивостями і характеристиками у будь якій точці. Крім того, припускаємо, що провідник рівномірно нагрівається по всьому поперечному перерізі.

Дані допущення полегшують формування математичної моделі вказаної системи і не значно впливають на кінцеві результати.

Розв'язання задачі. Для дослідження температури нагрівання провідника енергією миттєвими тепловими імпульсами спричиненими іскровими розрядами змодельємо його у вигляді нескінченно довгого стержня, який має теплову ізоляцію (рис 1.).

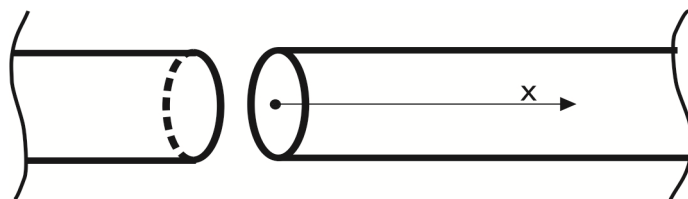


Рисунок 1 – Конструктивна схема провідника

В певний момент часу $t=t_1$ діє миттєве джерело тепла в перерізі стержня з координатою x вздовж осі стержня.

Диференціальне рівняння теплопровідності має вигляд

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (\tau > 0; 0 < x < \infty) \quad (1)$$

краєві умови

$$-\frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} + HT(0, \tau) = 0, \quad T(x, 0) = 0, \quad T(\infty, \tau) = 0. \quad (2)$$

Застосувавши перетворення Лапласа, розв'язання рівняння (1) запишемо у вигляді [3]

$$T(x, \tau) = \frac{b}{2\sqrt{\pi a \tau}} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(x-x_1)^2}{4a\tau}\right) + \exp\left(-\frac{(x+x_1)^2}{4a\tau}\right) - bH \exp(H(x+x_1) + aH^2\tau) \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{(x+x_1)}{2\sqrt{a\tau}} + H\sqrt{a\tau}\right) \right] \quad (3)$$

де, $T(x, \tau)$ – нестационарна температура в поперечному перерізі провідника, К; $b = \frac{Q}{c \cdot \gamma}$ – коефі-

цієнт, $K \cdot m$; Q – кількість тепла, яке виділене миттєвим джерелом на одиницю площі, $\frac{Дж}{m^2}$;

c – питома теплоємність матеріалу провідника, $\frac{Дж}{m^3 \cdot K}$; γ – густина матеріалу провідника, $\frac{кг}{m^3}$;

$a = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma}$ – температуропровідність матеріалу, $\frac{m^2}{c}$; λ – теплопровідність матеріалу провідника,

$\frac{Вт}{m \cdot K}$; $H = \frac{\alpha}{\lambda}$ – коефіцієнт, що враховує коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище,

m^{-1} ; α – коефіцієнт теплообміну з навколишнім середовищем, $\frac{Вт}{m^2 \cdot K}$; τ – поточний час, с.

Вираз (3) показує, що температура в місці виникнення іскри та розподіл температури вздовж провідника визначається величиною енергії, яка утворилася внаслідок іскріння. Шляхом чисельного експерименту з використанням виразу (3) проведенні розрахунки мідного провідника з полівінілхлоридною ізоляцією для $\lambda=390 \frac{Вт}{m \cdot K}$, $c=385 \frac{Дж}{m^3 \cdot K}$, $\rho=9840 \frac{кг}{m^3}$,

$$\alpha=10 \frac{Вт}{m^2 \cdot K} \quad [4].$$

Залежності зміни температури ізолюваного мідного провідника площею поперечного перерізу $1,5 \text{ мм}^2$ від часу та відстані для енергії іскрового розряду 10 Дж приведено на рис. 1

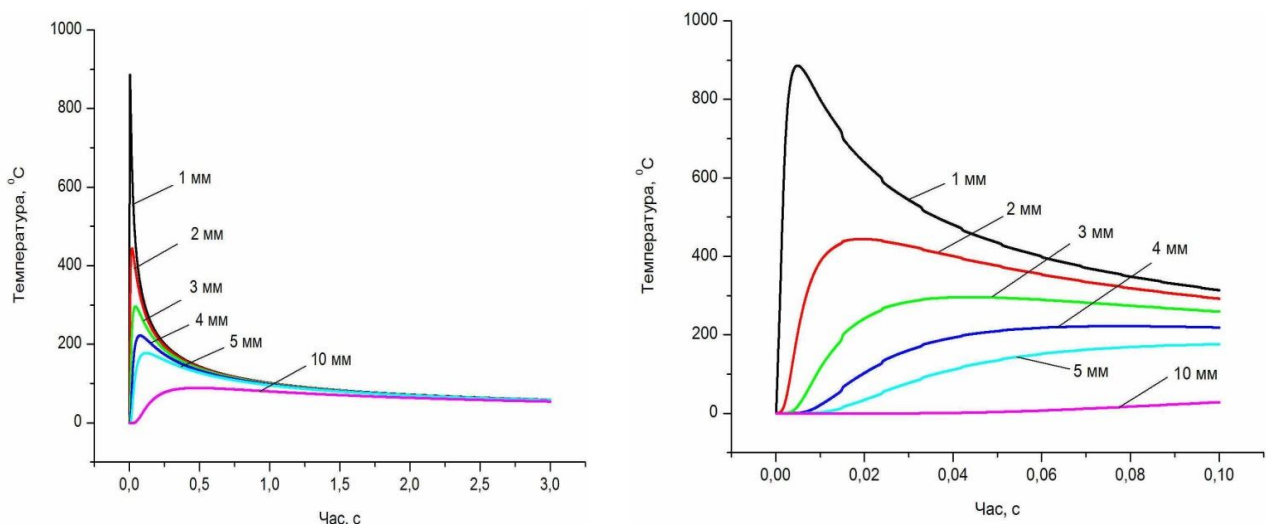


Рисунок 2 – Розподіл температури вздовж провідника ($1,5 \text{ мм}^2$) при енергії іскрового розряду 10 Дж

Аналіз рис.2 показує, що температура різко спадає вздовж провідника та вже на відстані 10 мм становить близько 50 °С, притому, що температура на відстані 1 мм від місця утворення іскрового розряду сягає 900 °С. Енергія, яка утворюється в процесі іскрового розряду поширюється вздовж провідника та частково передається в навколишнє середовище і вже через 1с поширюється по провіднику.

На рис. 3 наведено розподіл температури з тією ж енергією іскрового розряду, проте для провідника площею поперечного перерізу 1 мм² помітна, обернено пропорційна залежність зміни розподілу температури вздовж провідника від площі поперечного перерізу. На відстані 1 мм від іскрового розряду, у цьому випадку, температура становить 1250 °С та вже через 0,1 с спадає до 480 °С.

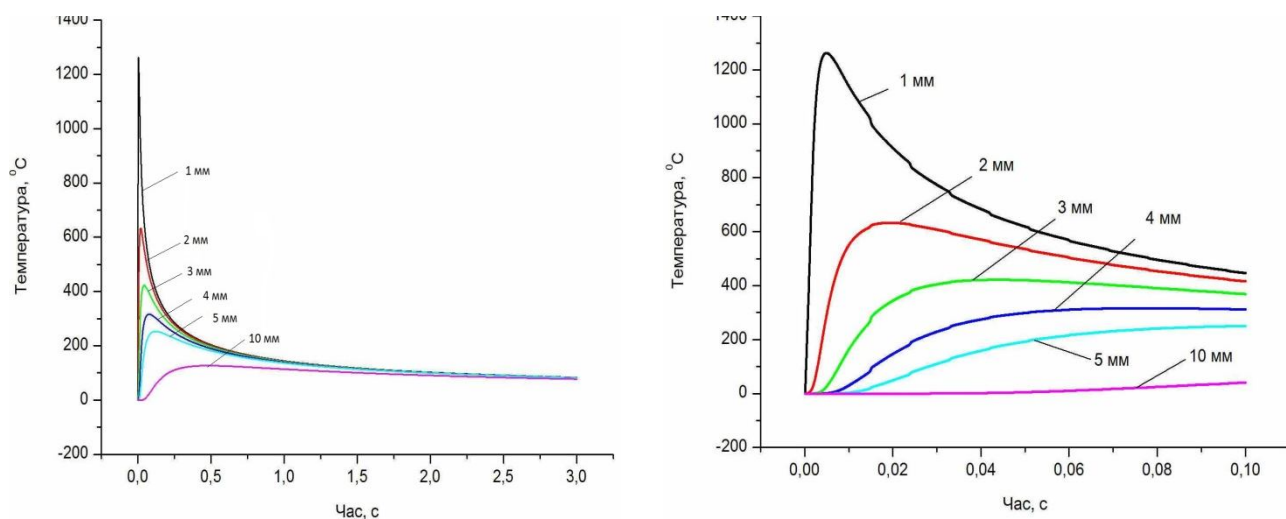


Рисунок 3 – Розподіл температури вздовж провідника (1 мм²) при енергії іскрового розряду 10 Дж

На рис.4 приведено зміну температури провідника на відстані 3 мм від місця утворення іскрового розряду в залежності від його енергії. Помітно, що температура провідника прямопропорційно залежить від енергії іскрового розряду, величина якої визначає час поширення тепла по провіднику.

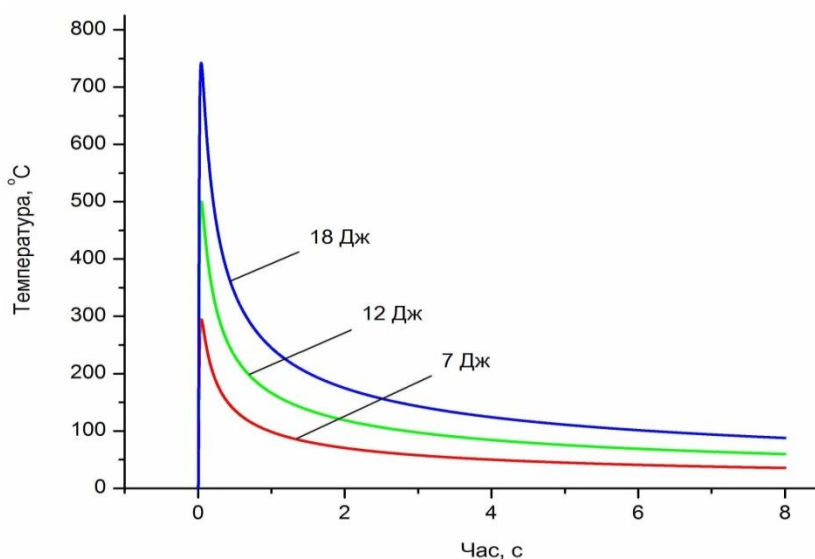


Рисунок 4 – Зміна температури у провіднику (1 мм²) від енергії іскрового розряду на відстані 3 мм від місця його виникнення

На рис.4 наведено залежність зміни температури в часі від діаметра провідника на відстані 0,5 мм від місця виникнення іскрового розряду і енергією 10 Дж. Аналіз показує, що при збільшенні діаметра провідника з 1 мм до 2 мм температура на відстані 0,5 мм від місця утворення іскрового розряду зменшується у 3,8 раза, а при збільшенні діаметра до 3 мм температура зменшується у 8,5 раза.

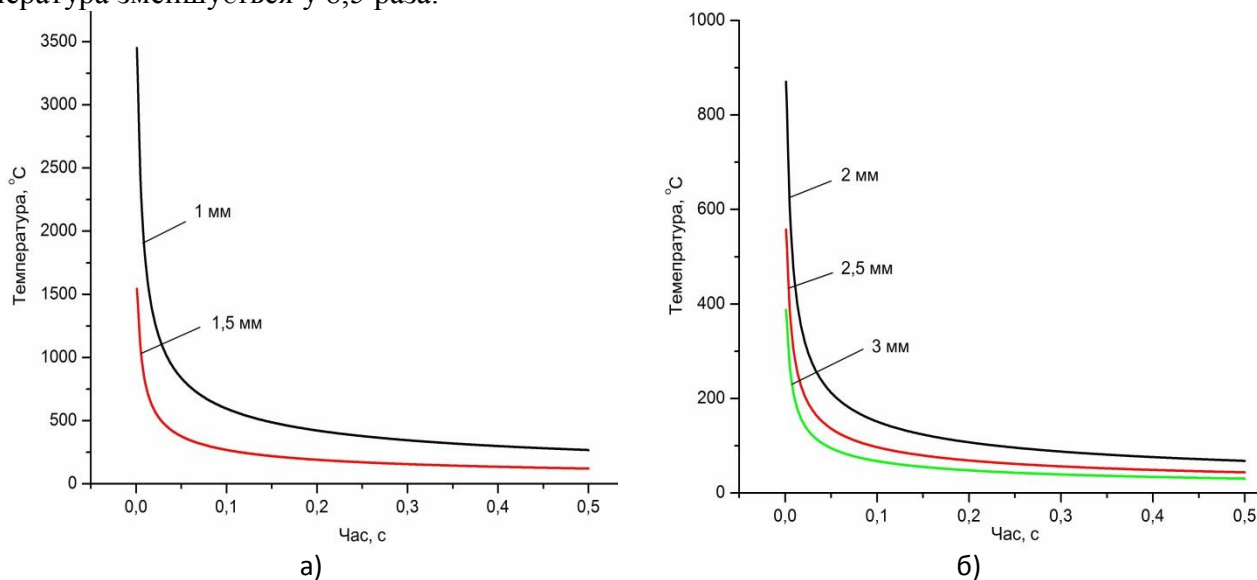


Рисунок 5 – Розподіл зміни температури в залежності від діаметру провідника на відстані 0,5 мм від місця виникнення іскрового розряду енергією 10 Дж

Висновки. Режим нагрівання ізольованого провідника визначається його конструктивними параметрами та енергією миттєвого теплового імпульсу. У випадку коли енергія іскрового розряду становить 10 Дж, температура провідника площею поперечного перерізу $1,5 \text{ мм}^2$ на відстані 1 мм від місця утворення сягає $900 \text{ }^\circ\text{C}$, а провідника перерізом 1 мм^2 – $1300 \text{ }^\circ\text{C}$. При збільшенні діаметра провідника з 1 мм до 2 мм температура на відстані 0,5 мм від місця утворення іскрового розряду з енергією 10 Дж зменшується у 3,8 раза, а при збільшенні діаметра до 3 мм температура зменшується у 8,5 раза.

Список літератури

1. Andrew Furness, Martin Muckett. Risk. Introduction to fire safety management. Publisher: Butterworth-Heinemann, 2007, 440p.
2. Гудим В.І. Аналіз систем та агрегатів автотранспортних засобів за рівнем пожежної небезпеки / В.І. Гудим, А.Ф. Гаврилюк // Пожежна безпека : зб. наук. пр. – Львів: ЛДУБЖД, 2013. – №23. – С. 58-63.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967.– 600с.
4. Величко Л.Д. Термодинамика та теплопередача в пожежній справі / Величко Л.Д., Лозинський Р.Я., Семерак М.М. – Львів: Вид-во: «СПОЛОМ», 2011. – 504 с.
5. Семерак М.М. Дослідження режимів нагрівання провідників електричним струмом / М.М. Семерак, В.І. Гудим, О.М. Коваль // Пожежна безпека : зб. наук. пр. – Львів: ЛДУБЖД, 2006. – №8. – С. 67-72.
6. Исхаков Х.И., Пахомов А.В., Каминский Я.Н. Пожарная безопасность автомобиля - М: Транспорт, 1987г., – 86с.;
7. Смелков Г.И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах - М.: Энергоиздат, 1984г., – 183с.;

References

1. Andrew Furness, Martin Muckett. Risk. Introduction to fire safety management. Publisher: Butterworth-Heinemann, 2007, 440p.
2. Gydum V.I. & Gavrilyk A.F. (2013) Analysis of systems and aggregates of motor vehicles by the level of fire danger. Lviv: LDU BGD, 23, 58-63 (in Ukr.)
3. Lykov A.V.(1967) The theory of heat conduction. Moscow.: Vyshay shkola, 600p. (in Russ.)
4. Velychko L.D., Lozunskuy R.J., Semerak M.M. (2011) Termodunamika ta teploperedacha v pozarnay spravi . Lviv: LDU BGD (in Ukr.)
5. Semerak M.M., Gydum V.I., Koval O.M. (2006) Research of modes of heating conductors of electric shock, Lviv: LDU BGD, 8, 67-72p. (in Ukr.)
6. Isxakov X.I., Paxomov A.V., Kamanskuy Y.N (1987) Fire safety car. Moscow: Transport, 86p. (in Russ.)
7. Smelkov G.I. (1984) Fire danger wirings under emergency conditions. Moscow: Energozdat, 183p. (in Russ.)

