

Шифр: «транспортні засоби»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРУМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ НА
ПОЖЕЖНУ НЕБЕЗПЕКУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

2019

Вступ. Кількість пожеж на легкових, вантажних автомобілях і автобусах (автомобільні транспортні засоби – АТЗ) у всьому світі постійно зростає з темпами, що перевищують зростання чисельності АТЗ [1]. Пожежі на АТЗ відносяться, як правило, до важких аварій і часто призводять до травматизму та людських жертв. В Україні, як і в світі, існує тенденція до зростання кількості пожеж на транспорті. За останні п'ятнадцять років в Україні виникло понад 50 тис. пожеж на АТЗ, в наслідок яких загинуло 546 та постраждало 1582 особи. Лише прямі матеріальні збитки завдані пожежами, які сталися протягом зазначеного періоду, становлять 992 млн. 859 тис. грн. [2]. Варто відмітити, що в Україні у 2018 році, порівняно з 2004 роком, кількість пожеж зросла у 1,8 раза, а прямі матеріальні збитки – у 14 разів! Динаміка росту кількості пожеж та прямих матеріальних збитків наведена на рис. 1.

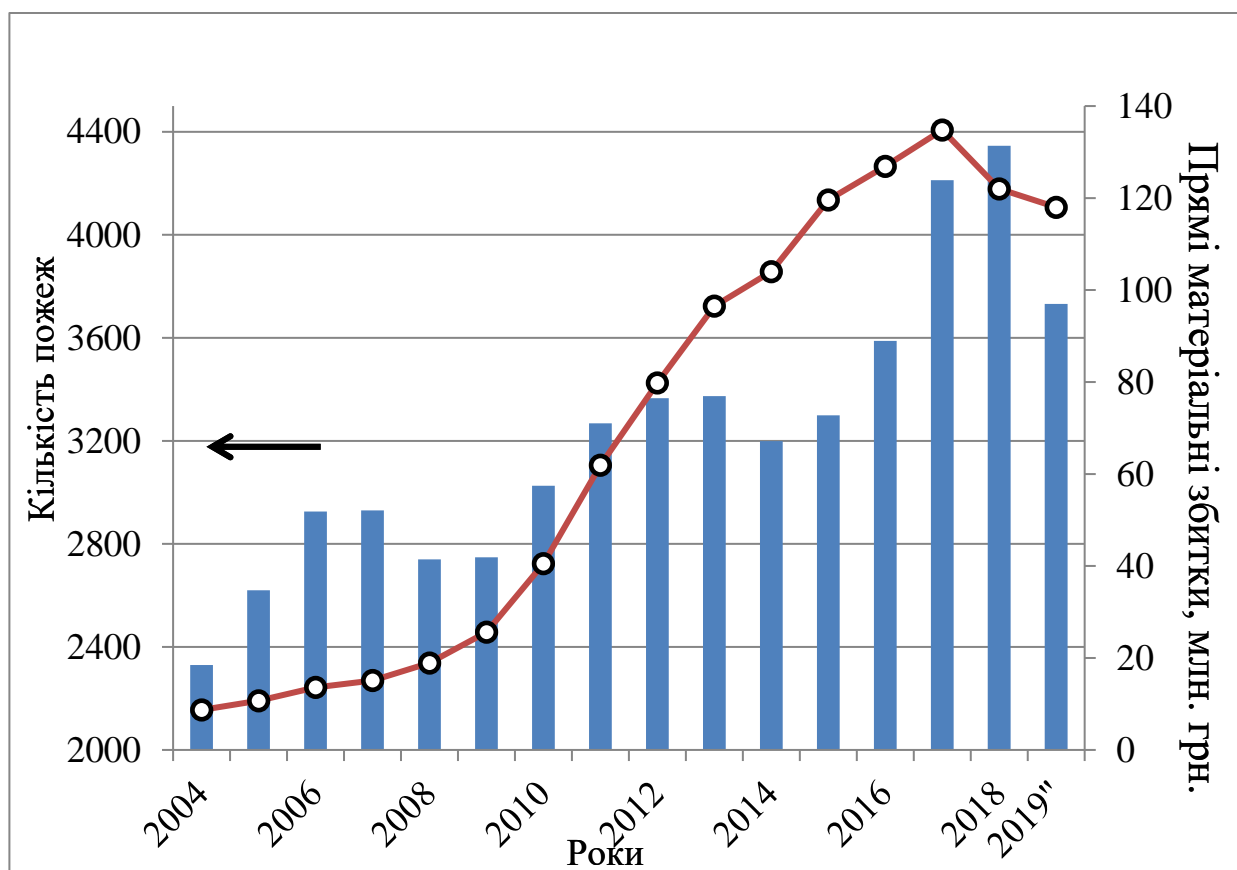


Рисунок 1 - Динаміка кількості пожеж колісних транспортних засобів в Україні та матеріальних збитків від них

Серед транспортних засобів найчастіше горять пасажирські транспортні засоби – 79%, а саме легкові автомобілі (33910 пожеж, або 68,1% від загальної кількості пожеж на транспортних засобах), автобуси (3258 пожеж, або 6,6% від загальної кількості пожеж на транспортних засобах) та тролейбуси (165 пожеж, або 0,5% від загальної кількості пожеж на транспортних засобах). Пожежі рейкових, річкових та повітряних транспортних засобів становлять 3,8%.

Пожежі вантажних автомобілів становлять 12,8% від загальної кількості пожеж на транспортних засобах або 6327 пожеж, 12,5% припадають на пожежі сільськогосподарської, спеціальної, інженерної техніки, причепів та мототранспорту. На рис. 2 наведені фото наслідків пожеж на АТЗ різного призначення.

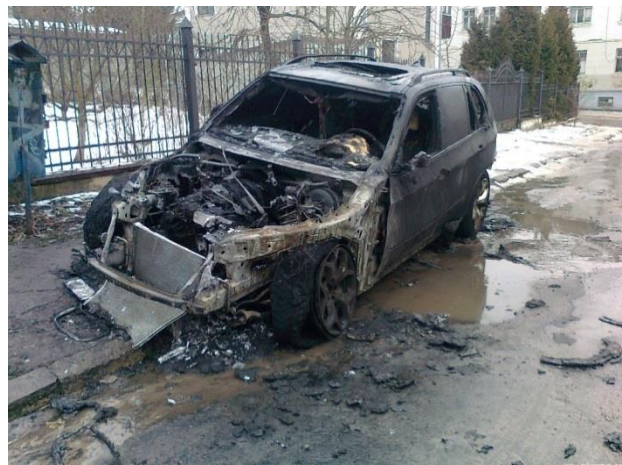


Рисунок 2 - Наслідки пожеж на автомобільних транспортних засобах різного призначення

Нерідко пожежі на транспортних засобах супроводжуються особливо тяжкими наслідками: загибеллю чи травмами водія та пасажирів. Так лише за 10 місяців 2019 року внаслідок пожеж на транспортних засобах загинуло 15 та травмовано 74 особи (рис. 3)!

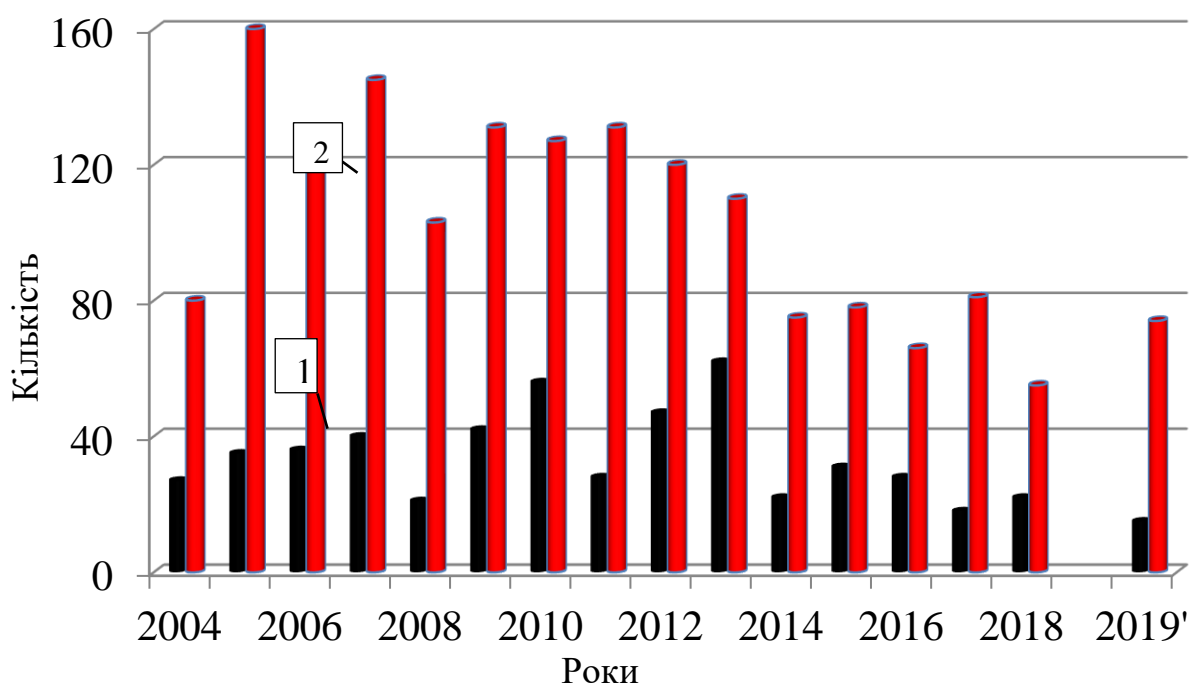


Рисунок 3 - Розподіл кількості загиблих (1) та травмованих (2) внаслідок пожеж на автомобільних транспортних засобах

Однак найбільша питома вага завданої шкоди належить пожежам вантажних автомобілів – по кількості загиблих, травмованих та завданих збитків, де в середньому кожною пожежею завдавалося прямих матеріальних збитків на 24,2 тис. грн, після цього слідує пожежі автобусів – 23,9 тис. грн., легкових автомобілів – 19,3 тис. грн., с/г та інженерної техніки – 13,8 тис. грн.,

Найбільш частими причинами пожеж транспортних засобів під час їх експлуатації є несправності електричної (коротке замикання та перенавантаження) та паливної систем. Так, наприклад, в Австрії пожежі на транспортних засобах спричинені порушенням режиму роботи електричної

системи, становлять 38% від загальної кількості пожеж автомобілів [18]. Рідше виникають пожежі внаслідок порушення герметичності елементів гідравлічного обладнання та випускної системи двигуна.

Пожежі можуть виникати від зовнішніх та внутрішніх джерел, спричинених порушенням правил пожежної безпеки, технічними неполадками, порушеннями правил експлуатації транспортних засобів, конструктивними неточностями, а також умисними підпалами.

Згідно із статистичними даними, однією з найпоширеніших причин виникнення пожеж на транспортних засобах, є пожежонебезпечні режими роботи бортової електромережі – 35%. У зв'язку з урізноманітненням бортових систем автомобілів, які покликані задовольнити потреби та комфорт споживача, розширюється та модифікується бортова електромережа транспортних засобів, що своєю чергою, збільшує небезпеку виникнення пожежі.

Дослідження причин виникнення пожеж АТЗ від бортових електромереж потребує аналізу їх режимів роботи з метою вибору оптимальних параметрів їх окремих елементів чи електромережі в цілому. Тому тільки на основі об'єктивної інформації про електротеплові та електромагнітні процеси можна вирішити задачу про підвищення рівня пожежної безпеки транспортних засобів.

Система бортової мережі АТЗ представляє собою цілий комплекс, до якого входять джерела струму, споживачі електричної енергії, провідникові системи, комутуючі пристрої та засоби захисту схем електропостачання. Дати оцінку їх тепловим режимам під час експлуатації та спрогнозувати можливі пожежонебезпечні режими можна за допомогою фізичного експерименту чи математичного моделювання.

Однією із причин виникнення пожеж на АТЗ є нагрівання провідників бортових електромереж, яке спричинене струмами короткого замикання (КЗ), перенавантаження, а також іскрінням, яке може утворюватися за різних причин [3].

У зв'язку з цим виникає задача визначення оцінки температури нагрівання ізолюваного провідника під час виникнення КЗ, що є важливою і актуальною технічною задачею.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розкриття особливостей нагрівання провідників бортових електромереж автотранспортних засобів струмами короткого замикання та іскровими розрядами.

Для реалізації поставленої мети було передбачено виконання таких задач:

- здійснити аналіз причин виникнення струмів короткого замикання у бортових електромережах автотранспортних засобів;

- провести експериментальне дослідження з визначення величини струмів короткого замикання з врахуванням опору перехідних контактів, внутрішнього опору акумуляторної батареї, а також опору провідників;

- провести числовий експеримент з визначення нестационарної температури нагрівання типових провідників бортових електромереж струмами короткого замикання та іскровими розрядами;

Об'єкт дослідження – струм короткого замикання бортових електромереж автотранспортних засобів.

Предмет дослідження – вплив чинників на величину струму короткого замикання бортових електромереж автотранспортних засобів .

Методи дослідження. Проведення теоретичних досліджень спиралось на методи математичного аналізу а також розв'язках нестационарних рівнянь теплопровідності. Експериментальні дослідження проводилися з використанням метрологічно атестованого обладнання і повірених засобів вимірювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що джерелом займання колісних транспортних засобів може бути струм короткого замикання, який виникає у контурі бортової електромережі з досягнення

значення 59 А у провідниках площею поперечного перерізу 1 мм², а у провідниках площею поперечного перерізу 2,5 мм² – 65 А. Енергія, яка виникає при іскровому розряді у бортовій електромережі колісних транспортних засобів, може перевищувати значення 10 Дж і більше, що достатньо для джерела займання газоповітряного горючого середовища у підкапотному просторі колісних транспортних засобів;

Постановка задачі. Струм КЗ може виникати внаслідок пошкодження ізоляції через її тріскання чи протирання, або випадкові контакти елементів електричних мереж, які знаходяться під напругою, з елементами кузова, а також через зменшення діелектричної стійкості ізоляції, що визначається її тепловим зношуванням [5]. Залежно від типу автомобіля, характеристик акумуляторної батареї (АКБ) чи генератора, а також конструкції провідників значення струмів КЗ будуть різні.

Для визначення небезпеки загоряння АТЗ викликаних струмами КЗ необхідно оцінити їх величину та час протікання, за який температура досягне межі займання. Такі режими доцільно досліджувати шляхом математичного моделювання із застосування прикладних програм та максимальним врахуванням всіх параметрів контура, в якому може появитися струм КЗ.

Розв'язання задачі. В реальних умовах струм КЗ буде залежати від параметрів генератора постійної напруги, який може забезпечувати живлення бортової електромережі автономно, або паралельно з АКБ. У випадку паралельного живлення значення струму КЗ буде значно більше, оскільки внутрішній опір паралельно з'єднаних джерел буде щонайменше у два рази менший від внутрішнього опору кожного з них. Крім того обмежувати струм КЗ будуть перехідні опори в місцях контактів, значення яких знаходиться в межах 0,005 – 0,01 Ом [5], опору провідників, який залежить від площі поперечного перерізу та довжини, а також опору в місці КЗ.

Найбільш небезпечним місцем виникнення КЗ є моторний відсік де присутня підвищена температура та наявність легкозаймистих та горючих рідин,

що складає велику пожежну навантагу, а також зона розміщення поливного баку. Третя зона – салон автомобіля, де знаходиться велика кількість синтетичних та полімерних матеріалів, якими обшивається та оздоблюється салон.

Враховуючи сказане, довжини провідників, які можуть утворювати контур КЗ можуть становити від 1 до 4 м. В зв'язку з тим необхідно обчислити значення струмів КЗ за умови, що він буде протікати від джерела живлення через провідник, а вертатися через елементи кузова АТЗ. Враховуючи те, що кузовні елементи виконані зі сталі, а провідники мідні, то можна прийняти з певним наближенням, що опір зворотнього шляху струму є значно меншим, у порівнянні з опором провідника, тому ним можна знехтувати.

Величина струму короткого замикання який може виникати у бортових електромережах АТЗ визначається з рівності:

$$I_{KЗ} = \frac{U_{AKБ}}{R_{вн} + R_{пер} + R_{KЗ} + R_{np}} \quad (1)$$

де, $I_{KЗ}$ – струм КЗ, А; $U_{AKБ}$ – напруга акумуляторної батареї, В; $R_{вн}$ – внутрішній опір АКБ, Ом; $R_{пер}$ – перехідний опір контактів, Ом; $R_{KЗ}$ – опір дуги КЗ, Ом; R_{np} – опір контура, де виник струм КЗ, Ом;

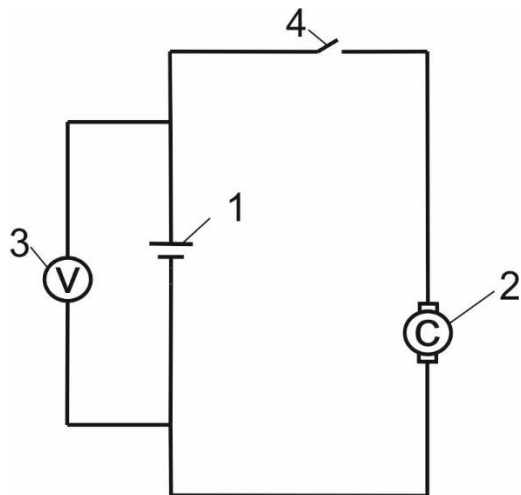
$$R_{np} = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (2)$$

З літературних джерел встановлено, що напруга справної АКБ лежить в межах $U_{AKБ} = 12..14$ В; сума опорів перехідних контактів становить 0,05-0,1 Ом; опір дуги КЗ лежить в межах 0,03-0,07 Ом;

Площа поперечного перерізу найбільш типових провідників бортових електромереж АТЗ складає 1 мм², 1,5 мм² та 2,5 мм². Враховуючи, що КЗ

відбувається у моторному відсіку з використанням виразу (2) опір провідників вищезгаданих перерізів становитиме 0,035 Ом, 0,0233 Ом та 0,014 Ом відповідно.

Для визначення внутрішнього опору АКБ було проведено експериментальне дослідження принципова схема якого зображена на рис 4. Дослідженню піддавалися АКБ як вітчизняних так і зарубіжних марок автомобілів.



1 – АКБ; 2 – стартер; 3 – вольтметр;
4 – ключ.

Рисунок 4 - Принципова схема проведення досліджень

Визначалася напруга АКБ до моменту замикання ключа запалення U_0 , та після – U_1 , коли та подавався струм на стартер. При цьому спад напруги на АКБ становив:

$$\Delta U = U_0 - U_1 \quad (4)$$

Знаючи споживчий струм I_1 стартера визначався внутрішній опір АКБ з рівності:

$$R_{\text{вн}} = \frac{\Delta U}{I_1} \quad (5)$$

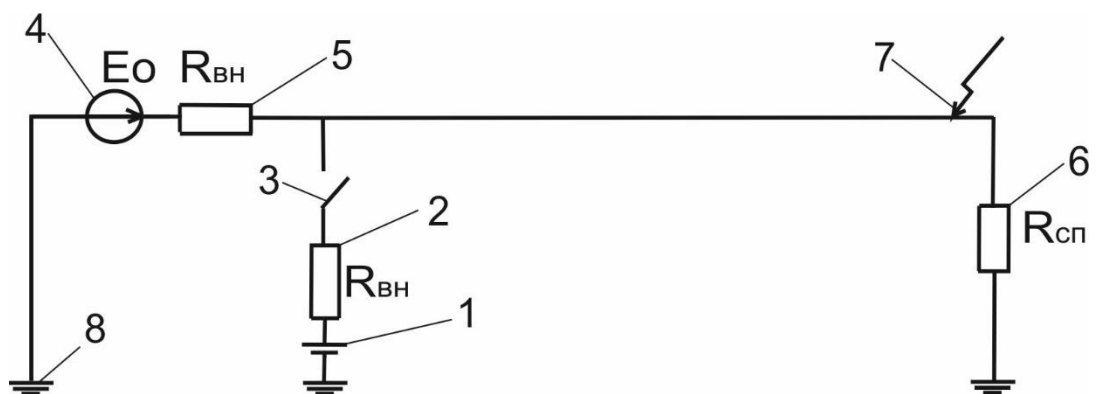
Результати експериментального дослідження наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

<i>№ n/n</i>	U_0	U_1	ΔU	$R_{вн}$
1.	13,5	11,8	1,7	0,017
2.	13,2	11,5	1,7	0,017
3.	12,9	11,0	1,9	0,019
4.	12,6	10,8	1,4	0,014
5.	12,8	11,1	1,7	0,017
<i>Сер. знач.</i>	13,0	10,84	1,7	0,017

Схема виникнення струму КЗ у разі пошкодження ізоляційного матеріалу провідників бортової електромережі зображена на рис 5.



1 – АКБ; 2 – внутрішній опір АКБ; 3 – ключ; 4 – ЕРС генератора; 5 – внутрішній опір генератора; 6 – опір споживача; 7 – місце виникнення КЗ; 8 – корпус АТЗ

Рисунок 5 - Схема виникнення струму КЗ у разі пошкодження ізоляційного матеріалу провідників бортової електромережі

Струм КЗ з використання виразу (1) для провідників бортової електромережі марки ПВ площею поперечного перерізу 1 мм², 1,5 мм² та 2,5 мм² становитиме 59 А, 62 А та 65 А відповідно.

Струм, який виникає внаслідок КЗ буде нагрівати провідник по всій його довжині. Зміна температури нагрівання провідника з часом при протіканні по

ньому струму КЗ наведено у вигляді графічних залежностей на рис. 3, 4, 5. для площ поперечного перерізу провідників 1 мм², 1,5 мм², 2,5 мм².

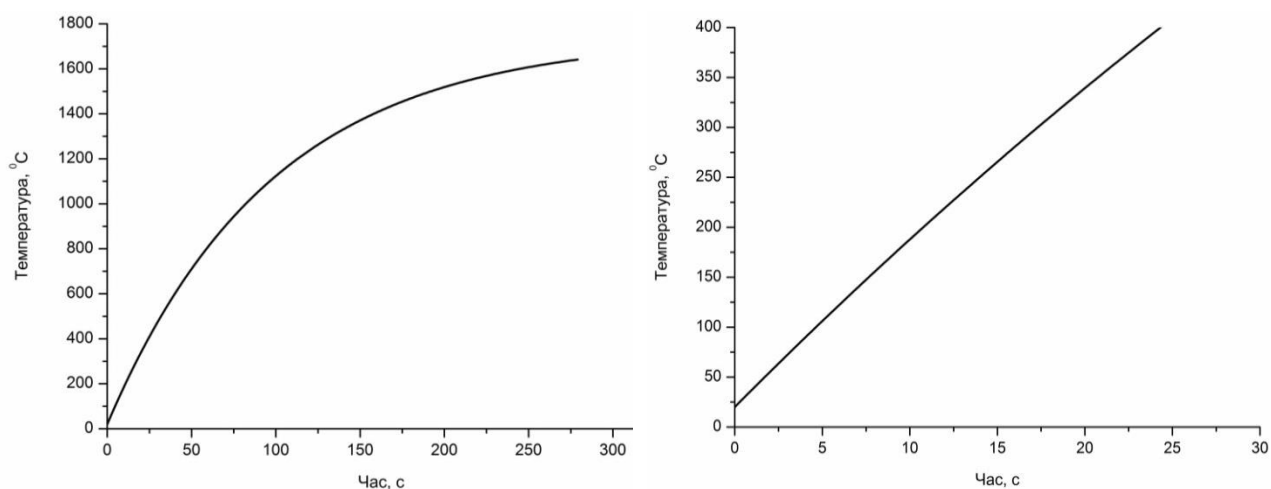


Рисунок 6 - Зміна температури нагрівання провідника площею поперечного перерізу 1 мм² з часом при струмі КЗ

Для провідника марки ПВ площею поперечного перерізу 1 мм² при протіканні струму КЗ 59 А усталений режим настає через 300с (рис.6). Експериментально встановлено, що температура займання ізоляційних матеріалів бортових електромереж АТЗ лежить в межах 290 – 370 °С [6], тому на рис. наведено зміну температури нагрівання ізольованого провідника з часом під час протікання струму КЗ. Вже на 25 с температура ізоляційного матеріалу досягає температури самозаймання.

При площі поперечного перерізу 1,5 мм² провідника марки ПВ при протіканні струму КЗ 62 А усталений режим настає при температурі близькій до 1000 °С через 400с від початку виникнення КЗ (рис 7) та температура самозаймання ізоляційного матеріалу досягається на 55с.

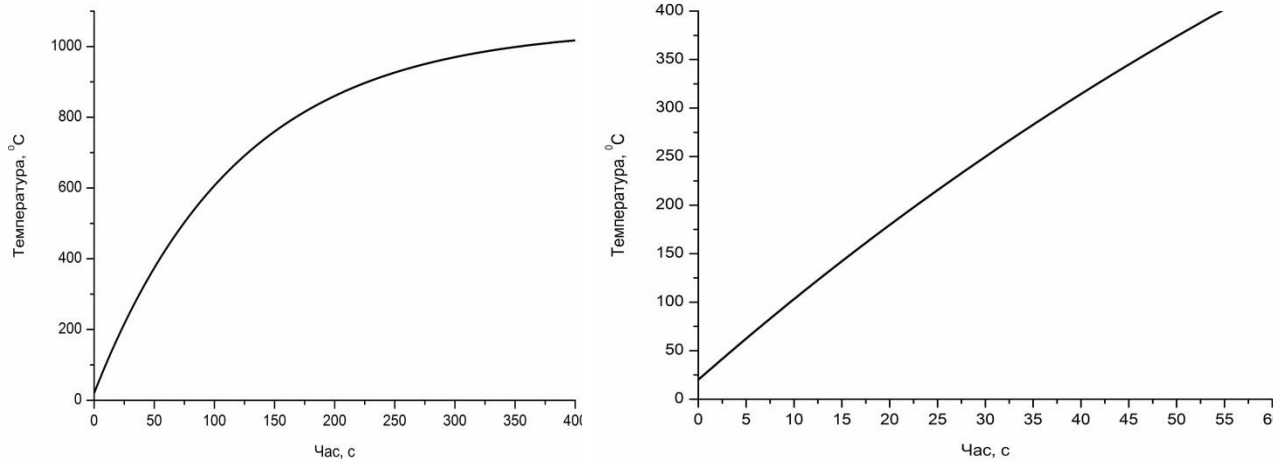


Рисунок 7 - Зміна температури нагрівання провідника площею поперечного перерізу 1,5 мм² з часом при струмі КЗ

Для провідника марки ПВ площею поперечного перерізу 2,5 мм² струм КЗ становить 65 А (рис. 8), який нагріває провідник до температури самозаймання ізоляційного матеріалу за 180 с, а усталений режим настає через 500 с.

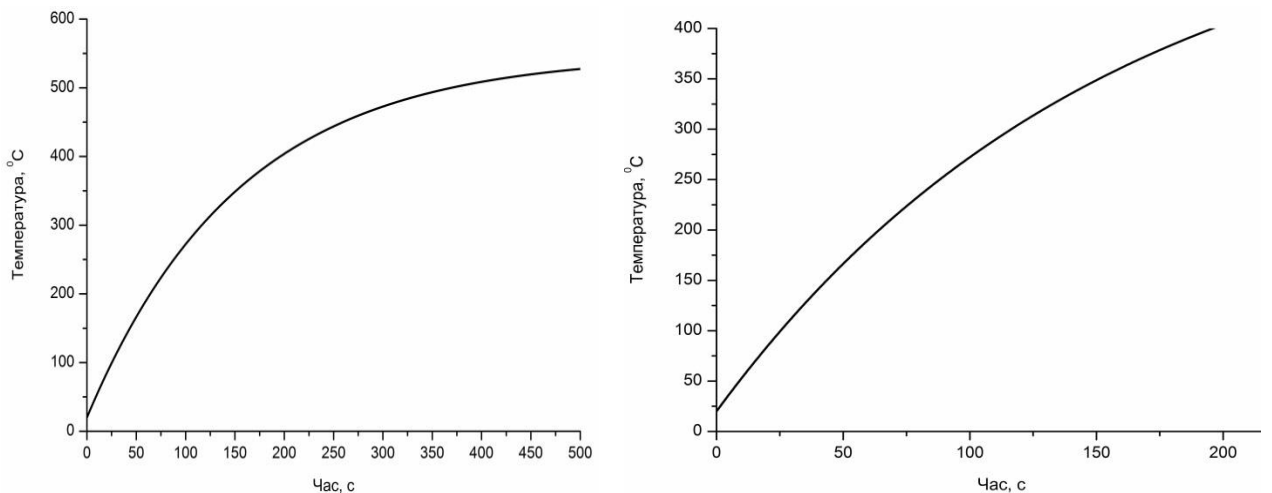


Рисунок 8 - Зміна температури нагрівання провідника площею поперечного перерізу 2,5 мм² з часом при струмі КЗ

Чисельний експеримент показав, що за умови, коли номінальний струм запобіжника підібраний неправильно або він відсутній, а його місце закорочене, струм КЗ, який виникає у бортовій електромережі АТЗ здатний нагріти ізольований провідник до температури самозаймання ізоляційного матеріалу та спричинити пожежу.

Нерідко під час експлуатації транспортних засобів стаються внутрішні, невидимі розриви струмопровідної жили (рис. б), 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. Для виникнення горіння ізоляційного матеріалу його спочатку потрібно нагріти до температури, при якій починається прискорення реакції взаємодії горючого з окисником [16, 17].

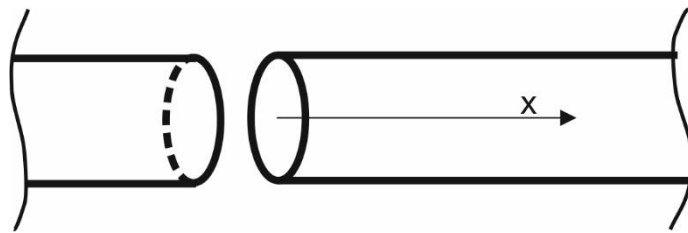


Рисунок 9 – Конструктивна схема провідника

Кількість енергії, яка виділяється у іскровому розряді, визначається з виразу:

$$Q = \int_0^t u_i \cdot i_i dt \quad (6)$$

де u_i – миттєве значення напруги іскри, В; i_i – сила струму в іскровому розряді, А;

Після певних математичних перетворень отримаємо вираз, який визначає енергію в іскровому розряді:

$$Q = \int_0^t \left(U e^{\frac{-t}{\tau}} \cdot \left(\frac{U}{R} - \frac{U e^{\frac{-t}{\tau}}}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) \right) \right) dt \quad (7)$$

де U – напруга в контурі, В; R – опір контура, Ом; L – індуктивність контура, Гн; t – час іскрового розряду, с; τ – стала часу, с.

З виразу (7) бачимо, що енергія іскри, які виникають у електричних колах, що містять реактивні елементи, тим більша, чим більший робочий струм I , напруга джерела живлення U , тривалість іскрової стадії розряду t , та індуктивності L , які в сукупності визначають енергію іскри.

Після певних математичних перетворень (7) сталу часу запишемо у вигляді:

$$\tau = \frac{-t}{\ln \frac{u_i}{U}} \quad (1.3)$$

Стала часу τ характеризує час згасання перехідного процесу зумовленого іскровим розрядом та залежить від напруги в розряді та тривалості іскрового розряду. Залежність зміни сталої часу від напруги іскрового розряду при різних значеннях тривалості іскрового розряду приведено на рис. 10

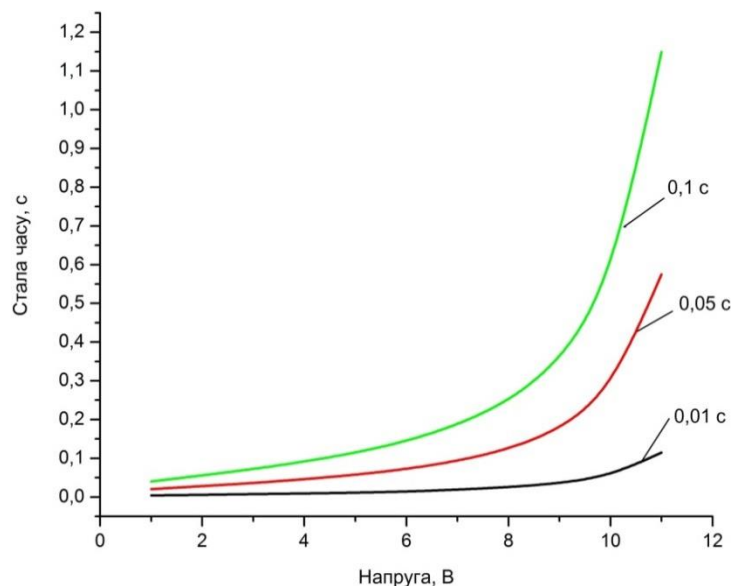


Рисунок 10 – Залежність зміни сталої часу від напруги іскрового розряду при різних значеннях часу існування іскрового розряду

Аналіз графічної залежності (рис. 10) показує, що із збільшенням напруги в іскровому розряді стала часу зростає. Разом з тим, із збільшенням часу існування іскрового розряду стала також збільшується.

На рис. 11 приведено залежності зміни сталої часу від часу існування іскрового розряду при різних значеннях напруги.

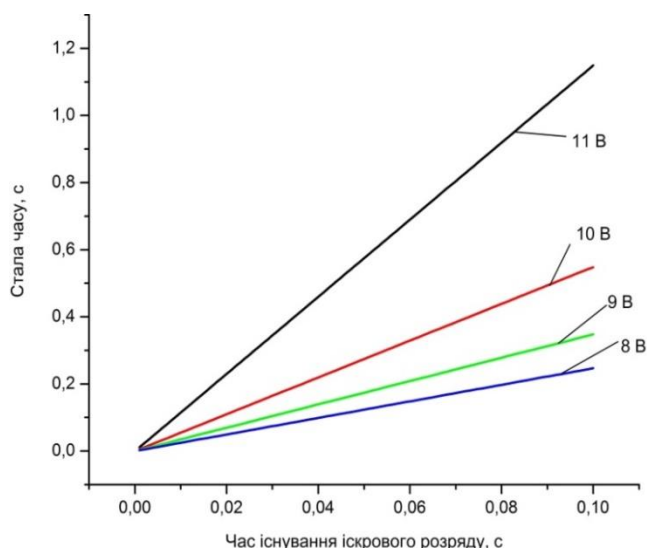


Рисунок 11 – Залежність зміни сталої часу від часу існування іскрового розряду при різних значеннях напруги

Оскільки напруга джерела та робочий струм визначають параметри споживача (пристрою, який живиться струмом), тому проаналізуємо залежність енергії іскрового розряду від часу його горіння.

Шляхом чисельного експерименту виразу (7) наведено залежність зміни енергії іскрового розряду з часом при різних значеннях опору контура (рис. 12).

Встановлено, що енергія іскрового розряду тим більша, чим більший час його існування. Також енергія визначається і опором контура, з зменшенням його значення енергія іскри зростає. Це пояснюється тим, що при зменшенні опору контура зростає сила струму, який по ньому протікає, котрий в свою чергу і визначає енергію іскрового розряду.

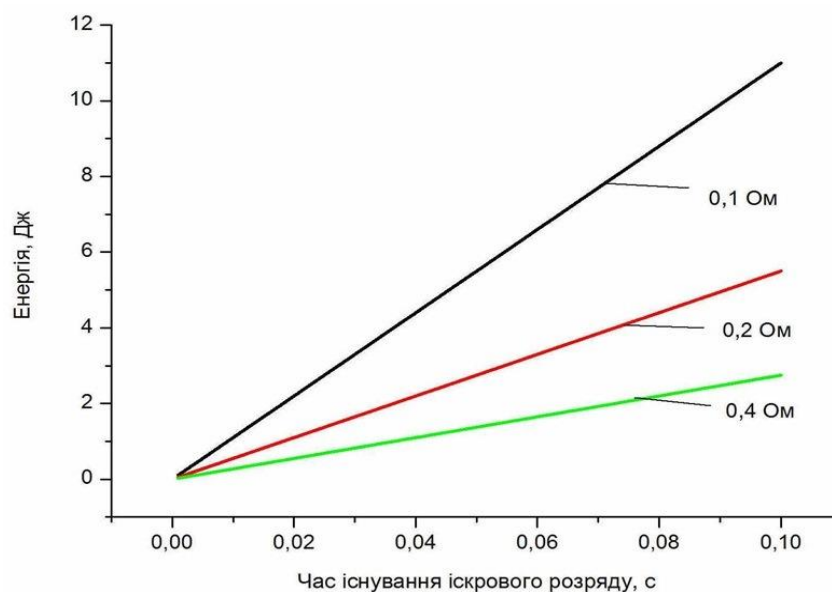


Рисунок 13 – Зміна енергії іскрового розряду з часом при різних значеннях опору контура

Зміну енергії іскрового розряду від індуктивності контуру приведено на рис. 13. Як бачимо, що зі збільшенням індуктивності контура енергія іскрового розряду зростає.

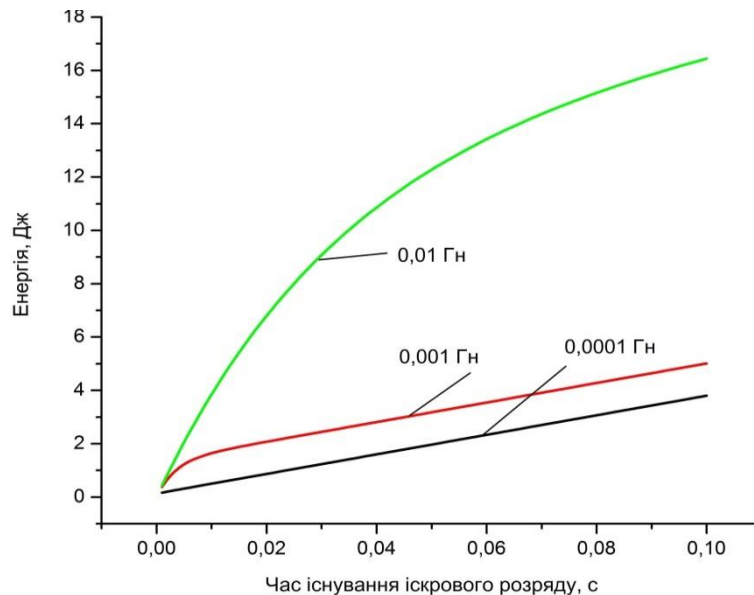


Рисунок 14 – Зміна енергії іскрового розряду з часом при різних значеннях індуктивності контура

Висновки.

1. При аварійних режимах роботи бортової електромережі АТЗ може виникати струм КЗ. Дані режими роботи створюються внаслідок порушення кріплення проводів, втратою діелектричної здатності ізоляційного матеріалу через механічні та температурні пошкодження, використання запобіжників з завищеним номінальним струмом плавкої вставки.

2. Режим нагрівання ізолюваного провідника струмом КЗ визначається сумарним опором контура та величиною джерела електрорушійної сили. Результати чисельного експерименту зміни температури нагрівання провідника струмом КЗ з часом наведено у вигляді графічних залежностей.

3. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що у контурі бортової електромережі колісних транспортних засобів з провідником площею поперечного перерізу 1 мм^2 струм короткого замикання сягає 59 А і він здатний нагріти цей провідник до температури самозаймання ізоляційного матеріалу (понад $355 \text{ }^\circ\text{C}$) за 25 с , а у випадку площі поперечного перерізу провідника $2,5 \text{ мм}^2$ величина струму короткого замикання досягає 65 А і він здатний нагріти провідник до температури самозаймання ізоляційного матеріалу за 180 с .

СПИСОК ВИКОРИСТВНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Брушлинский Н. Н. Мировая пожарная статистика в начале XXI века /Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов //Пожарная безопасность. – М.: 2005, № 5. – с. 78 – 88.
2. Офіційний сайт Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту: <http://www.undicz.mns.gov.ua/content/>. [Електронний ресурс] / Розділ Статистика / Аналіз масиву карток обліку пожеж, режим доступу до посилання: <http://www.undicz.mns.gov.ua/content/amkop.html>.
3. 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.
4. Смелков Г. И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 184 с
5. Гудим В.І. Діагностика стану з'єднань в електричних мережах шляхом контролю перехідних опорів / В.І. Гудим, Г.П. Столярчук, Ю.І. Рудик // Пожежна безпека : зб. наук. пр. – Львів : ЛДУБЖД, 2005. – №6. – С. 142- 147.
6. А.Ф. Гаврилюк Экспериментальное определение пожарной опасности изоляционных материалов бортовых электросетей транспортных средств /А.Ф.Гаврилюк, В.И. Гудым, В.Л. Петровский// Вестник Командно-инженерного института МЧС республики Беларусь: Зб.наук. тр.-2014.-№1 (19).-С. 32-37.
7. Закон України № 233/94-ВР від 10.11.1994 р. Про транспорт: за станом на 13.05.2010 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во., 2010. – 15с. – (Бібліотека офіційних видань).
8. Закон України № 3492-IV від 23.02.2006 р. Про автомобільний транспорт: за станом на 04.07.2013 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во., 2013. – 69с. – (Бібліотека офіційних видань).

9. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання: ДСТУ 3649:2010. – [Чинний від 2010-12-11] –К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 32 с.– (Національний стандарт України).
10. Пожар в автомобиле: как установить причину? / Булочников Н.М. Зернов С.И., Становенко А.А., Черничук Ю.П., – М: «ФЛИГИСТОН», 2006.- 224 с.
11. Исхаков Х.И. Пожарная безопасность автомобиля / Исхаков Х.И., Пахомов А.В., Каминский Я.Н. – М: Транспорт, 1987г., -86с.
12. Смелков Г.И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах - М.: Энергоиздат, 1984г., -183с.
13. Автомобильные подогреватели и отопители. // Полезные страницы, выпуск №9, М., За рулем, 2001г., 198-205 с.
14. Підгородецький Я.І. Автомобільні транспортні засоби. Основи конструкції / Я.І. Підгородецький, М.І. Сичевський, А.М. Домінік // – Л.: ЛДУ БЖД, 2013. – 316 с.
15. 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.
16. Мисюкевич Н.С. Автоматизация предотвращения пожаров кабельных сооружений и электрических проводок // Автореф. дисс.к.т.н., МИПБ МВД РФ, 1998 г.
17. L. Makovicka Fire of personal motor vehicle /L. Makovicka J. Svetlik// Badania i rozwoj №3, 2007. – p. 117-121.
18. U.S. Fire Administration's (USFA) Topical Fire Report Series Volume 13, Issue 11 / January 2013.