

*С.В. Сольоний<sup>1</sup>, Ю.І. Рудик<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент,  
Г.В. Демченко<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, А. Бенніс Юсеф<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>ДНВЗ «Донецький національний технічний університет»,  
<sup>2</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## **АНАЛІЗ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗАЙМАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ НИЗЬКОВО- ЛЬТНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ**

У статті проаналізовано стан пожежної безпеки низьковольтних електричних мереж об'єктів, пов'язаних із життєдіяльністю людини. Виявлено, що велика кількість займань ізоляції і, як наслідок, пожеж відбувається через іскріння або монотонну зміну перехідного опору контактних з'єднань. Проведено аналіз пристроїв відключення низьковольтних електричних мереж для запобігання пожежонебезпечному режиму їх роботи при появі дефектних контактних з'єднань. Проведено аналіз вихідних сигналів для одержання інформації про появу дефектних контактних з'єднань і визначені межі чутливості, необхідні для спрацьовування таких пристроїв.

**Ключові слова:** іскріння, контактне з'єднання, низьковольтна електрична мережа, перехідний опір, пожежна безпека.

**Аналіз сучасного стану проблеми.** Оцінюючи світову й вітчизняну пожежну статистику бачимо, що до 25 % всіх пожеж на об'єктах, пов'язаних з життєдіяльністю людини, виникає через причини, пов'язані з електрикою. З них біля 60 % – це поява таких джерел запалювання ізоляції ділянок низьковольтних електричних мереж (ДНЕМ), як іскріння або нагрівання від підвищення перехідного опору контактних з'єднань [1-3].

Виникненню таких аварійних режимів сприяє загальне зростання споживання електроенергії в технічно застарілих та порушення правил монтажу й експлуатації новоспроектованих ДНЕМ, а також тривалі перевантаження та використання не сертифікованого електрообладнання.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** Згідно зі стандартами в області пожежної безпеки та Правилами улаштування електроустановок [4-5] основними напрямками підвищення пожежної безпеки ДНЕМ є використання негорючих ізоляційних матеріалів та таких, що не поширюють горіння (група горючості Г2-Г4), проводів з більшою щільністю струму (мідь замість алюмінію), пристроїв контролю струмів витоків (диференціальні вимикачі, пристрої захисного відключення), пристроїв контролю струмів короткого замикання та перевантаження (автоматичні вимикачі, запобіжники) і контактних з'єднань, що самозатягуються (Ever Link та ін.), однак ці способи і засоби захисту не реагують на появу іскріння або нагрівання дефектних контактних з'єднань ДНЕМ.

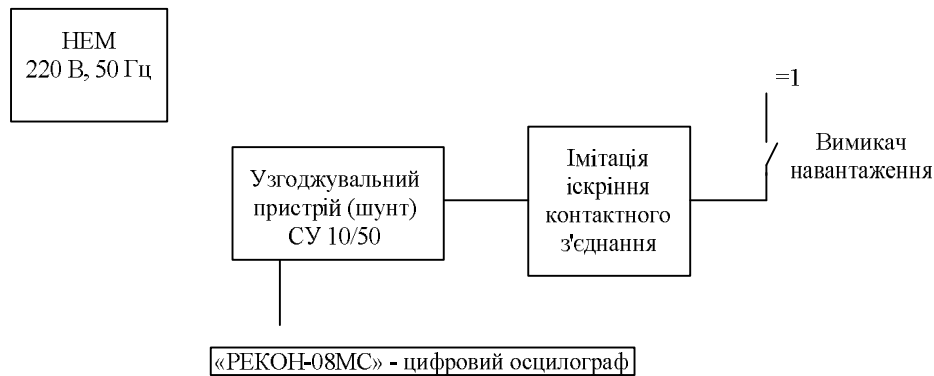
В останні десятиліття з'явилися патентні рішення в області пристроїв відключення ДНЕМ при появі дефектних контактних з'єднань [6, 7] (далі – пристрій захисту від іскріння), які дозволяють підвищити пожежну безпеку ДНЕМ до такого рівня, який би відповідав припустимому ризику загибелі людей на пожежах, регламентованому ГОСТ 12.1.004. У цих працях докладно описано принцип побудови схем пристроїв захисту від іскріння, заснований на відстеженні появи високочастотних гармонійних складових (вихідний сигнал) у ДНЕМ, обумовлених появою дефектних контактних з'єднань. У той же час майже немає досліджень в області аналізу вихідних сигналів і визначення меж чутливості пристроїв захисту від іскріння.

**Постановка задачі.** Вищевикладене дає змогу сформулювати такі задачі:

1) потрібно провести аналіз вихідних сигналів у ДНЕМ, що підлягають захисту, для одержання інформації про параметри, які супроводжують появу дефектних контактних з'єднань;

2) для підвищення ефективності роботи визначити межі рівня чутливості, необхідного для спрацьовування пристроїв захисту від іскріння.

**Розв'язання задачі.** Для визначення характерних особливостей виникнення дефектних контактних з'єднань у ДНЕМ був розроблений експериментальний стенд (рис. 1) і проведений такий експеримент.



**Рис. 1.** Схема експериментального стенда для виявлення особливостей виникнення дефектних контактних з'єднань у ДНЕМ

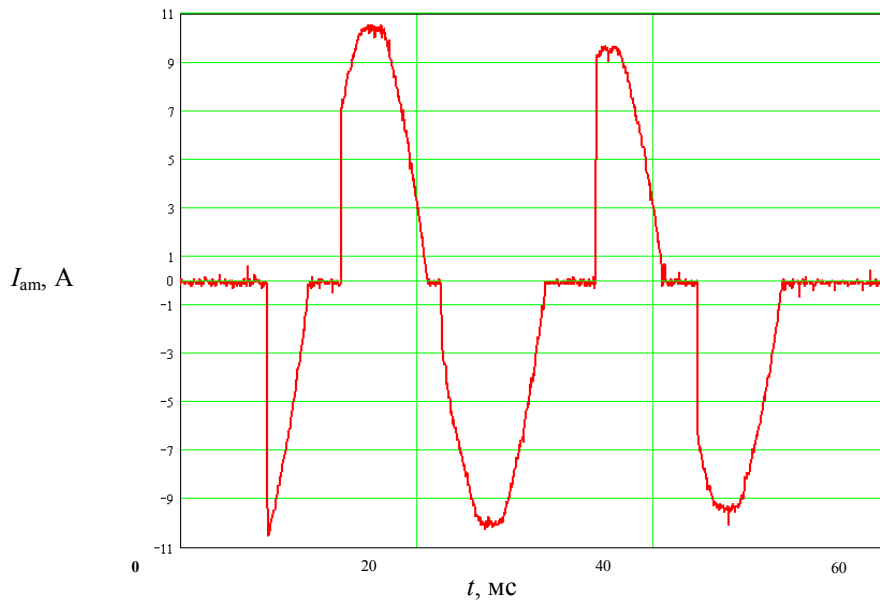
Для зняття осцилограм струму використовувався цифровий осцилограф «РЕКОН-08МС», із узгоджувальним пристроєм – шунт СУ 10/50. Для обробки сигналів використовувалося спеціалізоване програмне забезпечення WinRes-МС версія 2.8.3.0, а для побудови осцилограм – програмний пакет MathCAD.

За відсутності імітації іскрінь у контактному з'єднанні в схемі (рис. 1), осцилограма буде наближена до стандартної форми синусоїди. Спотворення синусоїдної форми сигналу, тобто якості електроенергії в цілому, викликане, у першу чергу, широким застосуванням у сучасних системах електропостачання електроприймачів, які явно та істотно спотворюють форму мережевої напруги, таких як електрозварювальні апарати, керований тиристорний електропривод, комп'ютерна та інша електронна побутова техніка. Значна частина цих споживачів генерує в мережу вищі гармоніки, суттєво знижуючи якість електроенергії ДНЕМ.

Спектральний аналіз такого сигналу показує присутність вищих гармонік, кратних 50 Гц – 100, 150, 300 Гц, у робочому струмі з частотою 50 Гц через навантаження [3]. Спектральний аналіз проводився за допомогою аналізатора частоти МСА3000.

Осцилограма, подана на рис. 2, знята при імітації іскрінь у контактному з'єднанні в схемі рис. 1. На осцилограмі видно періоди відсутності контактної з'єднання, а також періоди його відновлення, що супроводжуються різким стрибком струму, у деяких місцях він перевищує миттєві значення струму навантаження для кола без роз'єднань – процес іскріння в роз'ємних з'єднаннях контактів, а також вплив паразитних ємнісних опорів ДНЕМ.

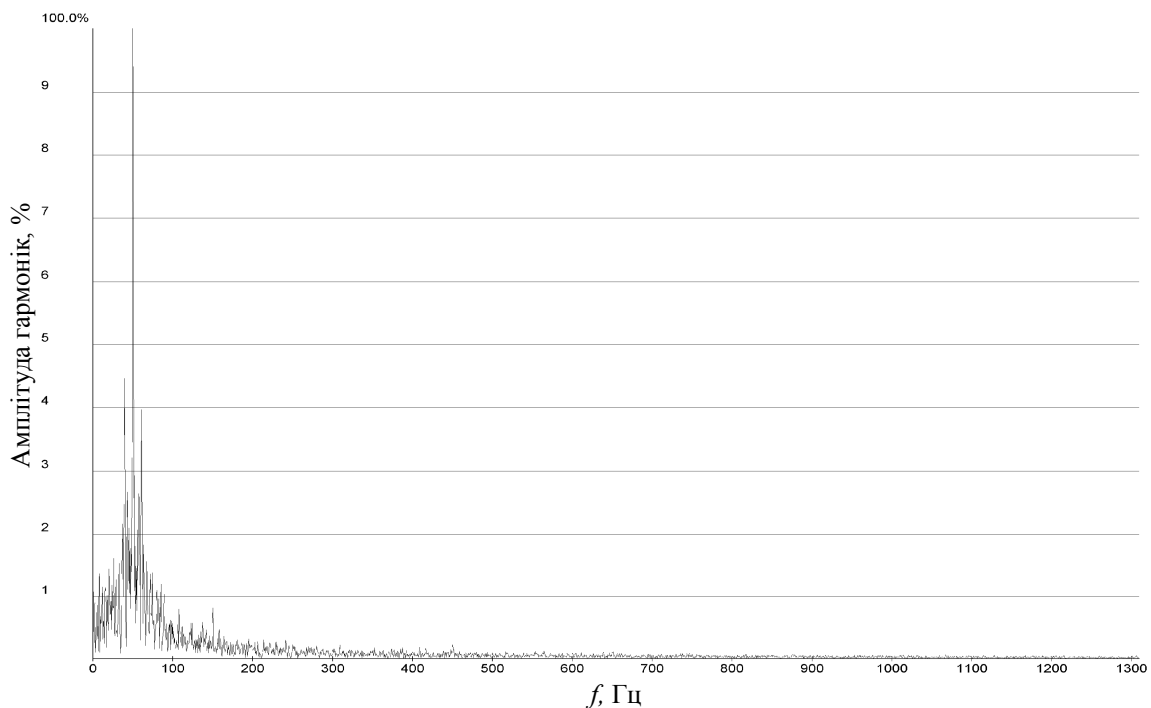
Спектральний аналіз осцилограми (рис. 2) показав, що нестабільність контактної з'єднання при зростанні перехідних опорів або виникненні іскріння в таких місцях призводить до появи в струмі через навантаження високочастотних гармонійних складових частотою від 500 Гц і вище (рис. 3).



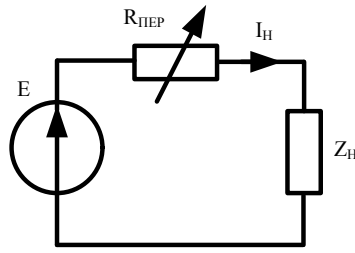
**Рис. 2.** Осцилограма епюри струму  $I_{ам}$  однофазної ДНЕМ напругою 220 В, частотою 50 Гц із імітацією іскріння в контактному з'єднанні

Межа чутливості пристрою захисту від іскріння визначається необхідним мінімальним діапазоном зміни перехідного опору контактного з'єднання (або значенням його похідної за часом – швидкістю його зміни) при якому створюється необхідний струм спрацьовування пристрою захисту від іскріння.

Поріг спрацьовування визначається вибором елементів принципових схем реалізації пристроїв захисту від іскріння [6, 7] і становить  $\approx 1,2$  В.



**Рис. 3.** Спектральний аналіз синусоїди однофазної ДНЕМ напругою 220 В, частотою 50 Гц з імітацією іскріння в контактному з'єднанні



**Рис. 4.** Схема заміщення ДНЕМ, що підлягають захисту

Еквівалентну схему заміщення ДНЕМ, що підлягають захисту, представимо в такий спосіб – (рис. 4), де  $E = 220 \text{ В}$  – напруга ДНЕМ;  $Z_{\text{н}}$  – сукупність всіх повних опорів навантажень, підключених до ДНЕМ (прийемо, що  $\cos\varphi = 1$ , а значення опорів обумовлені номінальним рядом струмів можливих навантажень у діапазоні від 6 до 32 А);  $R_{\text{пер}}$  – сукупність всіх перехідних опорів контактних з'єднань ДНЕМ, що підлягають захисту ( $R_{\text{пер}}$  є змінною величиною в процесі іскріння у контакті).

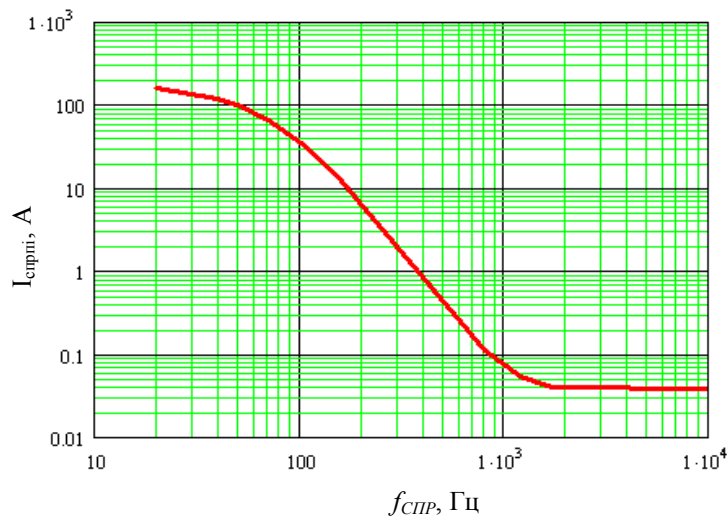
Визначимо величину струму навантаження ( $I_{\text{н}}$ , А) для схеми заміщення (рис. 4):

$$I_{\text{н}} = \frac{E}{Z_{\text{н}} + R_{\text{пер1}}}, \quad (1)$$

де  $E$  – електрорушійна сила в колі, В;

$R_{\text{пер1}}$  – початкове значення перехідного опору контактного з'єднання ДНЕМ, що підлягають захисту, для спрощення розрахунків прийемо  $R_{\text{пер1}} = 0 \text{ Ом}$ ;

$Z_{\text{н}}$  – повний опір навантаження, Ом.



**Рис. 5** Залежність  $I_{\text{спрi}}$  від частотного спектра іскріння у контакті

Тоді:

$$I_{\text{н}} = \frac{E}{Z_{\text{н}}}. \quad (2)$$

У випадку варіації  $R_{\text{пер1}}$  до деякого значення  $R_{\text{пер2}}$  вираз (1) приймає такий вигляд:

$$I_{\text{н}} \pm I_{\text{спрi}} = \frac{E}{Z_{\text{н}} \mp R_{\text{пер2}}}, \quad (3)$$

де  $I_{\text{спрi}}$  – значення струму спрацьовування пристрою захисту від іскріння, А, (залежить від значення похідної за часом  $R_{\text{пер}}$  (швидкості) і діапазону зміни  $\Delta R_{\text{пер}}$  від значення  $R_{\text{пер1}}$  до значення  $R_{\text{пер2}}$ ).

Знаходимо  $\Delta R_{\text{пер}}$  з виразів (2) і (3). Для визначеності припустимо, що значення  $R_{\text{пер}1}$  зростає до значення  $R_{\text{пер}2}$ . Отже,  $\Delta R_{\text{пер}}$  буде мати знак плюс, а, як наслідок, значення  $I_{\text{спрп}1}$  ввійде у формулу зі знаком мінус:

$$\Delta R_{\text{пер}} = \frac{I_{\text{спрп}1} \cdot Z_{\text{н}}^2}{E - I_{\text{спрп}1} \cdot Z_{\text{н}}} \quad (4)$$

Аналізуючи експериментально встановлену залежність струму спрацьовування пристрою захисту від іскріння [3] як функцію частотного спектра іскріння у контакті (рис. 5) бачимо, що із зростанням частоти спектра іскріння необхідне порогове значення струму для спрацьовування  $I_{\text{спрп}1}$  знижується до десятків міліамперів, а зі зменшенням частоти необхідне значення  $I_{\text{спрп}1}$  зростає до десятків амперів. Аналізуючи вираз (4) і залежність (рис. 5) отримуємо, що величина  $\Delta R_{\text{пер}}$  корелює із частотою ( $f_{\text{СПР}}$ ) струму спрацьовування пристрою захисту від іскріння так і з величиною  $Z_{\text{н}}$ . Використовуючи вираз (4) побудуємо залежності  $\Delta R_{\text{пер}}=f(I_{\text{спрп}1})$  (рис. 6) та  $\Delta R_{\text{пер}}=f(f_{\text{СПР}})$  (рис. 7), для різних струмів навантаження.

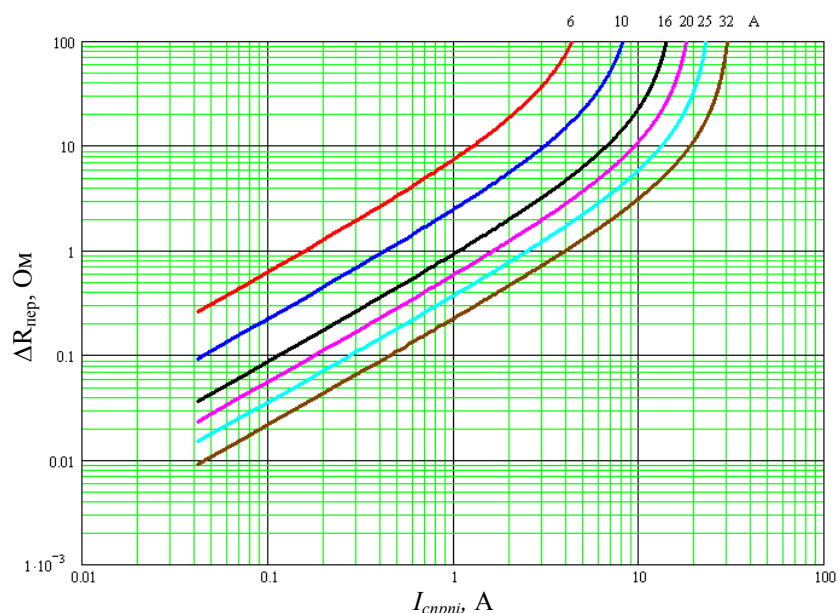


Рис. 6. Залежності  $\Delta R_{\text{пер}}=f(I_{\text{спрп}1})$ , для різних струмів навантаження

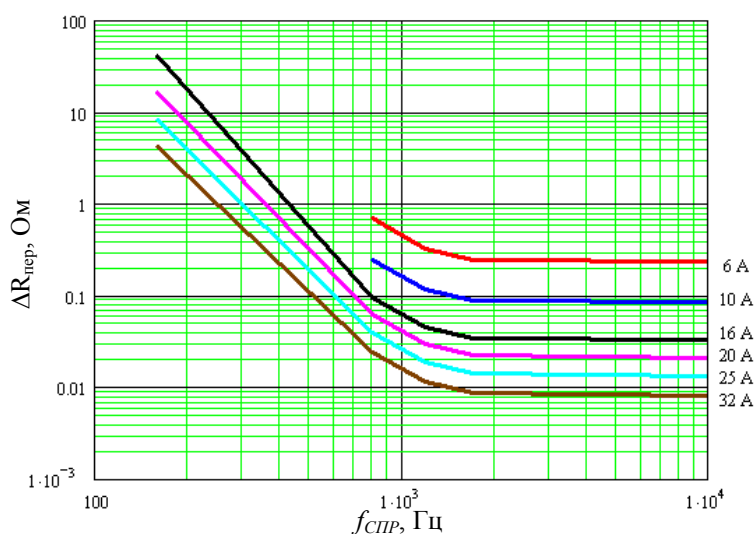


Рис. 7. Залежності  $\Delta R_{\text{пер}}=f(f_{\text{СПР}})$ , для різних струмів навантаження

**Отримані результати.** У такий спосіб вихідним сигналом для одержання інформації про появу дефектних контактних з'єднань у ДНЕМ, що підлягають захисту, будемо вважати появу в робочому струмі навантаження високочастотних гармонійних складових частотою від 500 Гц і вище, обумовлених нестаціонарністю контактного з'єднання.

Також якісний стан контактного з'єднання можна оцінювати за наявністю в спектрі (рис. 5) як низькочастотних гармонійних складових, обумовлених механічною нестабільністю контактного з'єднання (динамічний вплив струму), так і високочастотних гармонійних складових, обумовлених зміною перехідного опору або іскрінням у контактних з'єднаннях.

Аналіз залежностей (рис. 6-7) показує, що чутливість пристрою захисту від іскріння визначається швидкістю та діапазоном зміни перехідного опору контактного з'єднання.

**Висновок.** Утворення джерел запалювання ізоляції ДНЕМ внаслідок іскріння або нагрівання її від підвищення перехідного опору контактного з'єднання призводить до появи в робочому струмі навантаження частотою 50 Гц високочастотних (від 500 Гц і вище) гармонійних складових.

Встановлено, що при механічній нестабільності контактного з'єднання в спектрі переважають низькочастотні гармонійні складові, а поява перехідних опорів або іскрової нестабільності в контактному з'єднанні призводить до переваги в спектрі високочастотних гармонійних складових з кратністю до 50 Гц. Виявлено необхідні межі чутливості пристрою захисту від іскріння порядку трьох періодів струму мережі, яка залежить від частоти та амплітуди зміни перехідного опору контактного з'єднання, а також розміру індуктивності та ємності споживача і ділянки електромережі, які підлягають захисту.

### Список літератури

**1. Офіційний сайт** Центру пожежної статистики при Міжнародній асоціації по запобіганню та гасінню пожеж (CTIF, International association of fire and rescue service): <http://www.ctif.org/ctif/>. [Електронний ресурс] / Розділ Projects & Documents / Bruschlinsky N.N., Sokolov S.V., Wagner P., J.R. Hall: World fire statistics at the end of 20th century – Report № 13 Center of fire statistics of CTIF, FKF-Media e.V., 2008, 55 p., режим доступу до посилання: [http://www.ctif.org/ctif/IMG/pdf/CTIF\\_report11\\_world\\_fire\\_statistics\\_2008.pdf](http://www.ctif.org/ctif/IMG/pdf/CTIF_report11_world_fire_statistics_2008.pdf).

**2. Гудим В.І.** Технічне забезпечення нормативного рівня безпеки побутових електромереж / В. І. Гудим, П.Г.Столярчук, Ю.І. Рудик, В.М. Ванько // Пожежна безпека: Збірник наукових праць. – Львів: ЛДУБЖД МНС України, 2009. – № 14. – С. 39-44.

**3. Сольоний С.В.** Предотвращение возгорания изоляции в сетях 380-220В из-за появления ослабленных контактных соединений / С.В. Сольоний, О.А. Шевченко, В.В.Якимишина, Г.В.Демченко // Наукові праці Донецьк. нац. техн. ун-ту. Серія “Електротехніка і енергетика». Вип..9 (158). – Донецьк: ДонНТУ, 2009.

**4. Випробування** на пожежну безпеку електротехнічних виробів. Частина 1-1. Наставни щодо оцінювання пожежної небезпеки. Загальні положення (ІЕС 60695-1-1:1994): ДСТУ ІЕС 60695-1-1:2002. — К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 78 с. – [Чинний від 2003-01-01]. – (Національний стандарт України).

**5. ГОСТ 12.1.004-91.** ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – Взамен ГОСТ 12.1.004-85; Введ. 14.06.91. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 78 с.

**6. Пат. 2374691** Российская Федерация, МПК G08B17/00, H02H3/00. Способ предупреждения пожара от искрения в электрической сети или электроустановке и устройство для его осуществления / Кривов Ю.Н., Тонкий Л.В., Царев А.Б.; заявители и патентообладатели Кривов Ю.Н., Тонкий Л.В., Царев А.Б. – № 2008145312/09; заявл. 17.11.08; опубл. 27.11.09, Бюл. № 17.

**7. Пат. на Корисну модель 59344** Україна, МПК(2011.01) H02H 3/16. Пристрій захист від іскріння у електричних мереж об'єктів, пов'язаних із життєдіяльністю людини / Сольоний С.В., Ковальов О.П., Белоусенко І.В., Єршов М.С., Демченко Г.В., Васін О.О.; власник Донецький національний технічний університет. – № u201012991; заявл. 01.11.10; опубл. 10.05.11, Бюл. № 9.

## **АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ НИЗКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

В статье проанализирована обстановка с пожарной безопасностью низковольтных электрических сетей объектов связанных с жизнедеятельностью человека. Выявлено, что большое количество возгораний изоляции и как следствие пожаров происходит из-за появления искрения или монотонного изменения переходного сопротивления контактных соединений. Проведен анализ устройств отключения низковольтных электрических сетей при появлении дефектных контактных соединений. Проведен анализ исходных сигналов для получения информации о появлении дефектных контактных соединений и определены пределы чувствительности необходимые для срабатывания таких устройств.

**Ключевые слова:** искрение, контактное соединение, низковольтная электрическая сеть, переходное сопротивление, пожарная безопасность.

*S.V. Solyonyj, Yu.I. Rudyk, G.V. Demchenko, A Bennis Usef*

## **THE ANALYSIS OF SIGNALS FOR PREVENTION OF A LOW-VOLTAGE ELECTRIC NETWORK ISOLATION IGNITION**

In article conditions with fire safety of low-voltage electric networks of objects connected with ability to live of the person is analyses. It is revealed, that a plenty of ignitions of isolation and as consequence of fires occurs because of occurrence sparks or monotonous change of transitive resistance of contact connections. The critical analysis of existing protectively-switching devices is lead. The analysis of devices of switching-off of low-voltage electric networks is lead at occurrence of defective contact connections. The analysis of initial signals for reception of the information on occurrence of defective contact connections is lead and limits of sensitivity necessary for operation of such devices are certain.

**Keywords:** sparks, contact connection, a low-voltage electric network, transience resistance, fire safety.

