УДК 614.841.415:621.31

ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ЕЛЕКТРОПРОВОДОК ЯК МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

Ю. І. Рудик

Державний університет безпеки життєдіяльності, вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79008, e-mail: rudra@ukr.net

Наведені результати вимірювань опору ділянок електромереж низької напруги та аналіз їх сумарного опору з метою застосування при оцінюванні рівня пожежної небезпеки. На підставі цього запропоновано нормувати значення опору струмопровідного кола, що дозволяє кількісно оцінити показники безпеки матеріалів та монтажу побутових електромереж під час експлуатації.
Ключові слова: електромережа низької напруги, перехідний опір, електропровідність, струмопровідне коло, контакт, з'єднання, нормоване значення опору, пожежна безпека.

Приведены результаты измерений сопротивления участков электрических сетей низкого напряжения и анализ их суммарного сопротивления с целью применения при оценивании уровня пожарной безопасности. На основании этого предложено нормировать значение сопротивления токопроводящей цепи, что позволит количественно оценить показатели безопасности материалов и монтажа бытовых электросетей в процессе их эксплуатации.
Ключевые слова: электросеть низкого напряжения, переходное сопротивление, электропроводимость, токопроводящий круг, контакт, соединение, нормируемое значение сопротивления, пожарная безопасность.

Results of resistance measurement of low voltage electrical networks parts and analysis of resistance relatively to usage when evaluating the level fire safety are given. On the basis of this is recommended to normalize the current circle resistance size which allows to quantitatively evaluating safety marks of materials and domestics electrical networks assembling during exploitations.
Keywords: electric system of low tension, transitional resistance, conductivity, current conducting circle, contact, connection, rationed value of resistance, fire safety.

Теплова дія електричної енергії в надлишковій кількості, яка не може безпечно розсіятися в оточуючому просторі або деталях електрообладнання, мережах будівель найчастіше виявляється в результаті короткого замикання (у т.ч. з утворенням іскор та дуг), великих перехідних опорів (інтенсивне іскріння в ослаблених, окислених контактних з'єднаннях) чи струмових перевантажень (у вигляді перегрівання ділянок електромереж, електрообладнання, двигунів і апаратів), або винесення напруги на металеві конструкції і споруди.

Ці явища являють значну пожежну небезпеку і повинні бути відключені системою захисту. Однак навіть за умов справності запобігти всім ненормальним режимам роботи ділянок електромереж низької напруги (далі – ДЕНН) за допомогою відомих пристроїв захисту не вдається, захист не забезпечується з ряду причин [1, 2].

До останнього часу в діючих нормативно-технічних документах не розглядаються питання контролю стану електричних мереж до 1000В під час експлуатації, та, зокрема, перехідного опору контактних з'єднань (далі – ПОКЗ). Однак така діагностика дозволить своєчасно виявити передаварійний пожежонебезпечний стан електромережі, контролювати стан ПОКЗ та струмопровідного кола в цілому. Важливість обмеження струмових втрат з точки зору ефективності та зменшення виділення тепла в електропроводці для зниження пожежної небезпеки вважається загальноприйнятим у світі [3].

Існуючий метод [5] оцінки еквівалентного опору в мережах 0,38 кВ з урахуванням наявності відгалужень, асиметрії навантажень і різної густини струму на головних ділянках ліній описується формулою:

$$R_{ek} = 32{,}25\, K_L K_B K_N K_H \sum_{i=1}^{N} F_i L_i / F_\Sigma^2,$$

де L_i – довжина магістралей, км, з перерізом проводу F_i , мм^2; N – кількість груп ліній з різними перерізами головних ділянок, які живляться від одного трансформатора; F_Σ – сумарний переріз головних ділянок цих ліній, мм^2; K_L = 1–0,63d_p – коефіцієнт навантаження (d_p=1 для рівномірно розподіленого навантаження вздовж лінії, d_p = 0 для навантаження, зосередженого у кінці лінії); K_H = =1,05+0,3d_p – коефіцієнт збільшення втрат в лінії з несиметричним навантаженням; K_B = 1-0,95 L_B / L_Σ – понижувальний коефіцієнт, який залежить від довжини відгалужень L_B і сумарної довжини відгалужень і лінії L_Σ; K_N = 1,1 ± 0,06 – неоднаковість густини струму.

Довжина і кількість відгалужень електромереж у певних межах може суттєво відрізнятися одна від одної. Для прикладу розглянемо конфігурацію електропроводок житлового будинку, яка включає кілька окремих кіл, проведених окремо із роздільним живленням [3]. Розглянемо типову електромережу квартири та розрахуємо еквівалентний опір ліній. Основні параметри можуть встановлюватися за документацією і експериментально. Якщо для однокімнатної квартири прийняти, що F_i = 1,5; 2,5; 4,0 мм^2 , L_i =12; 12; 20м , тоді для квартирної мережі з рівномірно розподіленим навантаженням вздовж лінії отримаємо, що R_{ek} = 0,017 Ом, а для квартирної мережі з навантаженням, зосередженого у кінці лінії, R_{ek} = 0,036 Ом.

Найбільший R_{ek} буде в ділянці електропроводки із найменшим перерізом, оскільки формула зводиться до відношення довжини електропроводки до площі перерізу проводів.

Перехідні опори мають місце за будь-яких способів з'єднання провідників один з одним. За умови належного контакту і правильного з'єднання перехідні опори незначні і практично не відрізняються від опорів інших ділянок електричного кола. З часом перехідний опір контактів збільшується, а у випадках їх порушення в місцях з'єднання різко зростає.

Зростання перехідних опорів відбувається у випадках:

– погіршення електропровідності через утворення твердих оксидних плівок, підгоряння контактних поверхонь, їх забруднення оливними нашаруваннями і пилом;

– електрохімічної корозії контактів внаслідок використання різнорідних матеріалів;

– механічного пошкодження контактних з'єднань;

– неякісного виконання монтажу електропроводок і з'єднань (скручування, перекошування контактних пластин тощо);

– ослаблення, розхитування та порушення щільності болтових контактів через вібрацію, різницю коефіцієнтів температурного розширення матеріалу болтів і шин;

– корозії матеріалів під впливом вологи та агресивних середовищ;

– дії тепла із зовні;

– недостатньої сили стиску контактів під час монтажу;

– зміни діаметру жил проводів та кабелів через недотримання значення радіуса згину їх по будівельних конструкціях або через механічний натяг, на який вони не розраховані;

– від'єднання від електричної мережі електричних приладів під навантаженням;

– підвищення напруги в матеріалі контактів і їх пластичної деформації через переохолодження болтових з'єднань.

Ділянки з підвищеним ПОКЗ сильно нагріваються, що призводить до займання ізоляції, іскріння і навіть до появи електричної дуги.

Виділення тепла відбувається через погані контакти і є однією з ознак підвищення ПОКЗ у процесі експлуатації. Однак застосування методів тепловізійного або термометричного контролю для цього явища є низько ефективним, а в ряді випадків і неможливим [4].

Відповідно до поставлених задач було проведено експериментальне дослідження значень резистансу ділянок електромереж низької напруги при оцінюванні сумарного опору квартирної мережі.

З цією метою було проведено вимірювання опору струмопровідних кіл електропроводок (освітлювальної мережі) у десяти приміщеннях. У чотирьох із них із двома відгалуженнями у кожному, і в шести приміщеннях із трьома відгалуженнями у кожному. Схема вимірювання застосовувалася відповідно до ГОСТ 7229 [5].

Склад мережі: 6 світильників на 5 патронів для ламп розжарювання кожен, об'єднані у три групи, з індивідуальним вимикачем кожна. Окремо однією або двома вітками живляться відповідно 2 або 4 штепсельні розетки. Електропроводка виконана проводом марки АПВ 2х(1х2,5) необхідної довжини (≈80м). Два автоматичні вимикачі А2061 встановлені на вводі від лінії живлення перед розгалужувальною коробкою на три вітки.

Підготовка мережі до вимірювання проводилася наступним чином. Вхідні проводи обох автоматичних вимикачів А2061

від'єднувалися від вводу і до них приєднувалися щупи цифрового омметра Щ-31. Для вибору відгалуження, в якому контролювався опір струмопровідного кола, відповідні вимикачі ставилися у положення «Увімкнуто», а решта – в положення «Вимкнуто».

У світильниках досліджуваної ДЕНН всі лампи розжарювання замінювалися на алюмінієві цоколі відповідного типорозміру без ізолюючої деталі, виготовлені на ВАТ «Іскра» (м. Львів). Перед їх встановленням у кожного був виміряний електричний опір між боковою стінкою і п'ятою. Значення опору для кількості 100 шт. наведені у табл.1. Аналогічно закорочувалися гнізда штепсельних розеток з використанням короткозамкнутих за допомогою спаювання між собою мідним дротом обох штирів штепселів.

Таблиця 1 – Значення опору цоколів і штепсельних вилок, Ом

Максимальне значення	Середнє значення	Нормоване значення	Мінімальне значення
0,075	0,022	------	0,010

Така величина опору співмірна з опором такої ж ділянки проводу, який застосований в аналізованій ДЕНН, а також відповідає вимогам ГОСТ 17441 [6]. Таким чином, при проведенні вимірювання (рис. 1) досягнута вимога мінімізації систематичної похибки згідно ГОСТ 8.207 [7].

При включенні цифрового омметра Щ-31 зняття показів виміряного значення опору струмопровідного кола ДЕНН для кожного відгалуження виконувалося при встановленому часі індикації $t_{інд} = 5$ с, причому кожен результат вимірювання спостерігався десятикратно, що дозволяло вносити поправки з метою усунення систематичної похибки вимірювання.

Під час випробувань визначалися такі параметри досліджуваної ДЕНН, як площа перерізу струмопровідної жили (у всіх випадках - алюмінієвої) та довжина прокладання від точки контролю до кінцевих споживачів. Ці дані та результати розрахунку згідно методу, розглянутого в [8], подані в табл. 2. Результати проведеного вимірювання опору струмопровідного кола ДЕНН (окремо за відгалуженнями та сумарних значень для приміщення) зведені у табл. 3.

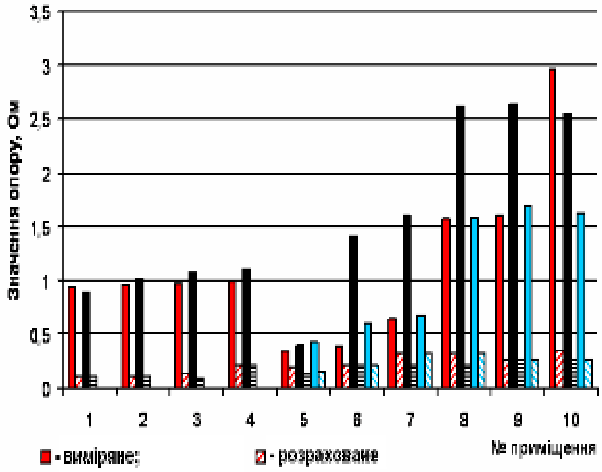


Рисунок 1 – Значення виміряних і розрахованих опорів ДЕНН

Таблиця 2 – Результати розрахунку опору струмопровідного кола ДЕНН

№ п/п	1-ше відгалуження			2-ге відгалуження			3-тє відгалуження			ДЕНН в цілому	
	F_i, мм^2	L_i, км	$R_{розр.1}$. Ом	F_i, мм^2	L_i, км	$R_{розр.1}$. Ом	F_i, мм^2	L_i, км	$R_{розр.1}$. Ом	$R_{розр.1}$. Ом	$R_{розр.2}$. Ом
1	2,5	0,02	0,107	2,5	0,02	0,107	--	--	--	0,054	0,458
2	2,5	0,02	0,107	2,5	0,02	0,107	--	--	--	0,054	0,491
3	2,5	0,025	0,134	2,5	0,015	0,080	--	--	--	0,054	0,510
4	2,5	0,04	0,215	2,5	0,04	0,215	--	--	--	0,107	0,522
5	2,5	0,035	0,188	2,5	0,025	0,134	2,5	0,03	0,161	0,054	0,129
6	2,5	0,04	0,215	2,5	0,04	0,215	2,5	0,04	0,215	0,072	0,202
7	2,5	0,06	0,322	2,5	0,04	0,215	2,5	0,06	0,322	0,095	0,273
8	2,5	0,06	0,322	2,5	0,04	0,215	2,5	0,06	0,322	0,095	0,607
9	2,5	0,05	0,268	2,5	0,05	0,268	2,5	0,05	0,268	0,089	0,627
10	2,5	0,065	0,349	2,5	0,05	0,268	2,5	0,05	0,268	0,098	0,744

Таблиця 3 – Виміряні значення опору струмопровідного кола ДЕНН

№ приміщ.	1-ше відгалуження			2-ге відгалуження			3-тє відгалуження			Сумарний опір кола, Ом		
	R_i, Ом	F_i, мм^2	L_i, км	R_i, Ом	F_i, мм^2	L_i, км	R_i, Ом	F_i, мм^2	L_i, км	вимір.	розр.1	розр.2
1	0,94	2,5	0,02	0,893	2,5	0,02	---	---	---	0,844	0,054	0,458
2	0,958	2,5	0,02	1,007	2,5	0,02	---	---	---	0,871	0,054	0,491
3	0,97	2,5	0,025	1,074	2,5	0,015	---	---	---	4,588	0,054	0,510
4	0,985	2,5	0,04	1,109	2,5	0,04	---	---	---	0,955	0,107	0,522
5	0,34	2,5	0,035	0,4	2,5	0,025	0,43	2,5	0,03	0,156	0,054	0,129
6	0,388	2,5	0,04	1,4	2,5	0,04	0,6	2,5	0,04	0,238	0,072	0,202
7	0,64	2,5	0,06	1,6	2,5	0,04	0,68	2,5	0,06	0,359	0,095	0,273
8	1,57	2,5	0,06	2,62	2,5	0,04	1,587	2,5	0,06	1,055	0,095	0,607
9	1,602	2,5	0,05	2,635	2,5	0,05	1,69	2,5	0,05	1,204	0,089	0,627
10	2,97	2,5	0,065	2,55	2,5	0,05	1,625	2,5	0,05	1,562	0,098	0,744

Для визначення співвідношення частки перехідного опору контактних з'єднань у загальному значенні сумарного опору, розраховано значення опору жил проводів. Результати розрахунку та вимірювання сумарного опору відповідної ДЕНН наведено на рис. 2.

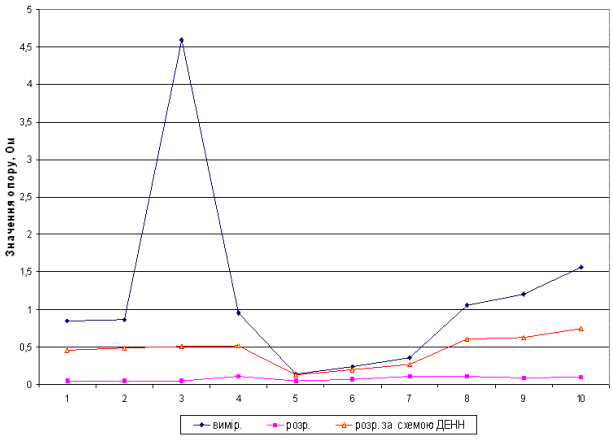


Рисунок 2 – Відхилення реальних значень опорів ДЕНН від розрахованих значень опору проводів

Аналіз отриманих результатів (рис. 2) дозволяє стверджувати, що реальні значення опору струмопровідного кола ДЕНН становлять від 150% до 300% значень, розрахованих за параметрами мережі та схеми ДЕНН. Таким чином, підтверджується припущення про необхідність встановлення нормованого значення опору струмопровідного кола ДЕНН з метою сертифікації на відповідність показникам якості, зокрема, пожежної безпеки приміщень.

Після експериментальної перевірки підтверджено можливість використання запропонованого методу для оцінювання еквівалентного опору квартирної мережі.

ВИСНОВКИ

Проведений експериментальний контроль шляхом вимірювання величини електричного опору струмопровідного кола ДЕНН із типовою схемою підтвердив велике значення складової ПОКЗ у сумарному опорі у порівнянні із величиною опору, отриманою за розрахунковим методом. Запропонована методика дозволяє кількісно оцінити показники безпеки матеріалів та монтажу ДЕНН.

Запропоновано стандартизувати значення опору струмопровідного кола ДЕНН, оскільки близько 50-75% цього значення складають перехідні опори контактних з'єднань. Запропонований метод дозволяє контролювати пожежонебезпечні параметри ДЕНН шляхом порівняння із нормованими величинами цих параметрів.

1. Сашин В. Н. Пожарная безопасность светотехнических изделий / В.Н.Сашин, В. В. Смирнов // Пожаровзрывобезопасность. - 1997. - №3. - С. 35-38. 2. Пожарная опасность электрических винтовых контактных соединений : обзорная информ. / Г.И.Смелков, Ю. К. Писков, В. Н.Веревкин, В. И. Сашин. - М.: ГИЦ, 1988. - 46 с. 3. Rizzoni Principles and applications of electrical engineering / Giorgio, Rizzoni. – New York: McGraw-Hill Higher Education, 2000. – 976 p. 4. Яцук В. Методи підвищення точності вимірювань : навч. пос./ В. Яцук, П. Малачівський. – Львів: Вид-во "Растр-7", 2007 – 368 с. 5. Кабели, провода и шнуры. Метод определения электрического сопротивления токопроводящих жил и

проводников : ГОСТ 7229 : 1984. – [Введ. 01.01.88]. - М.: Изд-во стандартов, 1985. - 15 с. 6. Соединения контактные электрические. Правила приемки и методы испытаний : ГОСТ 17441 : 1984 – [Введ. 01.01.90]. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 42 с. 7. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положення : ГОСТ 8.207:1976 ГСИ. - [Введ. 01.01.90]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 25 с. 8. Рудик Ю.І. Удосконалення нормативної бази для забезпечення якості електромереж низької напруги : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.01.02/ Рудик Юрій Іванович; Львівський державний університет безпеки життєдіяльності. – Львів, 2007. – 20 с.

Поступила в редакцію 20.11.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Яцишин С.П.