

Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Сольона Оксана Ярославівна



УДК 614.841.332

**ПРОГНОЗУВАННЯ, МОНІТОРИНГ І ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВИНИКНЕННЯ
ДЖЕРЕЛ ЗАГОРЯННЯ ГОРЮЧОГО МАТЕРІАЛУ В ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ
ПРИМІЩЕННЯХ**

05.26.01 – Охорона праці

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Донецьк – 2014

Дисертацією є **рукопис**.

Робота виконана на кафедрі «Електропостачання промислових підприємств і міст» Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Ковальов Олександр Петрович**, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», професор кафедри «Електропостачання промислових підприємств і міст».

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Коптиков Віктор Павлович**, Державний Макіївський науково-дослідний інститут з безпеки робіт у гірничій промисловості Міністерства енергетики і вугільної промисловості України, заступник директора з наукової праці, керівник Випробувального центру;

доктор технічних наук, професор **Дзюбан Віталій Серафимович**, ПрАТ «Донецьксталь – металургійний завод», перший заступник директора дирекції з енергетики і електротехники.

Захист відбудеться «26» червня 2014 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 11.052.05 у ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, I навчальний корпус, ауд. 213 (ВАЗ).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, II навчальний корпус.

Автореферат розісланий «22» травня 2014 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, Д 11.052.05
д.т.н, проф.



В.П. Кондрахін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Державною цільовою соціальною програмою забезпечення пожежної безпеки на 2012-2015 р., затвердженою Постановою Кабінету Міністрів України № 590 від 27.06.2012 р., передбачено проведення досліджень в галузі розробки математичних моделей і методів по визначенню і прогнозуванню імовірності виникнення пожеж, ефективних способів їх попередження і ліквідації наслідків.

Кодекс цивільного захисту України № 5403-VI від 02.10.2012 р. передбачає розробку нових технічних рішень і організаційних заходів, використання діючих і розробку нових нормативних документів, застосування яких дозволить забезпечувати пожежну безпеку промислових і побутових електрифікованих об'єктів.

Значний внесок по вдосконалюванню відомих і розробку нових методів і способів забезпечення пожежної безпеки електрифікованих приміщень внесли: Белоусенко І.В., Брюханов А.М., Верьовкін В.Н., Гудим В.І., Дзюбан В.С., Єршов М.С., Кашолкін Б.І., Ковальов П.Ф., Коваль А.М., Коптиков В.П., Кривов Ю.М., Кудинов Ю.В., Омельченко В.Т., Пехотиков В.А., Ревякін А.І., Смелков Г.І., Черкасов В.М., Юрків Б.М., Якуш С.Е., Hall J.R., Watts J.M., Rasbash D.J. і ін.

Аналіз статистики пожеж в Україні через пошкодження електричної проводки в приміщеннях за період з 2003 по 2012 р. свідчить про те, що якщо не розробляти нові й не вдосконалювати відомі методи і способи забезпечення пожежобезпеки електрифікованих об'єктів, то в них щорічно буде відбуватися до 14000 випадків загорянь від електротехнічних причин.

З цього слідує, що робота, спрямована на створення нових і вдосконалювання відомих математичних моделей, методів оцінки й прогнозування безпеки електрифікованих об'єктів, а також розробку нових технічних і організаційних заходів щодо вдосконалювання комплексу засобів захисту, які реагують на появу небезпечного електричного джерела запалювання в низьковольтній електричній мережі напругою до 1 кВ, є актуальною науково-технічною задачею, рішення якої дозволить не допускати випадків появи загорянь горючого матеріалу в електрифікованих приміщеннях і тим самим забезпечити безпеку людей, що знаходяться в них.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до плану робіт кафедри «Електропостачання промислових підприємств і міст» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» у рамках кафедральної теми Н 21-10 (ДР № 0110U007239) «Прогнозування іскробезпечних параметрів електричних кіл вибухозахищеного обладнання, імовірності виникнення вибухів, пожеж у квартирах і розробка заходів щодо їхнього запобігання» при участі дисертанта як відповідального виконавця окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Прогнозування, оцінка і попередження небезпеки загоряння горючого матеріалу в електрифікованих приміщеннях за рахунок розробки нових технічних і організаційних заходів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– оцінити рівень пожежної небезпеки електрифікованих приміщень, які експлуатуються в Україні;

– встановити аналітичні залежності ймовірності виникнення загорянь горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні протягом року від частоти появи і тривалості існування пошкоджень в електричній проводці, а також від надійності комплексу засобів захисту і строків їх діагностики, частоти появи горючого матеріалу поблизу можливого пошкодження мережі та строків його виявлення і усунення;

– розкрити механізм впливу параметру потоку пошкоджень електричної проводки, комплексу засобів захисту, які реагують на появу коротких замикань, перевантажень, витоків струму на землю або появу ослабленого, небезпечно нагрітого силового контактного з'єднання і строків їх діагностики, а також від наявності горючого матеріалу поблизу прокладки провідників на процеси загоряння в електрифікованих приміщеннях;

– обґрунтувати норми надійності на пропонований комплекс заходів і засобів захисту по попередженню випадків загоряння горючого матеріалу в об'єкті, при якому забезпечується безпека електрифікованого приміщення і людей, що перебувають у ньому;

– одержати експериментальні залежності інтервалів часу до плавлення полівінілхлоридної ізоляції електричної проводки, виконаної з алюмінію і міді, від різної кратності струмів перевантажень, а також часу розігріву і остигання силових контактних з'єднань при безперервному електричному іскрінні;

– розробити технічні вимоги на створення модульної системи попередження випадків загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні, що складається з пристрою вводу в експлуатацію і діагностики низьковольтної електричної мережі, пристрою для захисного відключення, електромонтажної коробки, електричної розетки, іскробезпечного комутаційного пристрою, низьковольтного комплектного пристрою.

Об'єкт дослідження – процеси виникнення загорянь в електрифікованому приміщенні в результаті утворення небезпечного джерела запалювання, наявності горючого матеріалу поблизу можливого місця пошкодження мережі та відмов відповідних засобів захисту.

Предмет дослідження – умови виникнення загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні залежно від частоти появи і тривалості існування небезпечного електричного джерела, пожежонебезпечного середовища і надійності засобів захисту.

Методи досліджень. Для досягнення поставленої мети і вирішення науково-технічних задач використовувався комплексний підхід досліджень, що містить: аналіз статистичних даних про пожежі й нормативну базу в галузі оцінки надійності параметрів і експлуатації електротехнічних пристроїв, які використовуються в електрифікованих приміщеннях; системний аналіз встановлення причинно-наслідкових зв'язків між факторами, що впливають на частоту появи пожежонебезпечного середовища, електричного джерела запалювання і виникнення загоряння горючого матеріалу; методи теорії ймовірностей для визначення рівня пожежобезпеки електрифікованого приміщення; теорії надійності засобів забезпечення пожежобезпеки;

експериментальні методи досліджень із використанням стандартних методів вимірів параметрів електричних пристроїв, кабелів і проводів; математична обробка даних експериментальних досліджень по виявленню загоряння ізоляції провідників внаслідок появи електричних джерел проводилася з використанням комп'ютерної техніки, реєстратора РЕКОН-08МС, пірометра DT-8867H, мультиметра FUKK 266 Clamp meter CE; математичне моделювання процесів за допомогою пакетів прикладних програм MathCAD, Excel, WinRec-MS.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше отримана аналітична залежність імовірності загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні протягом року від частоти появи небезпечного електричного джерела і тривалості його існування, надійності засобів захисту і строків їх діагностики, яка відрізняється урахуванням частоти появи і тривалості знаходження горючого матеріалу поблизу можливої появи джерела запалювання, що дозволяє з достатньою для практичних розрахунків точністю оцінювати і прогнозувати рівень пожежної небезпеки об'єкту.

2. Обґрунтовані параметри надійності й строки діагностики пристроїв захисту низьковольтної електричної мережі, а також інтервал часу між перевітками наявності горючого матеріалу, що може знаходитися в безпосередній близькості від можливого джерела запалювання, що дозволяє виключити появу загоряння горючого матеріалу в електрифікованих приміщеннях і тим самим забезпечити безпеку людей, що знаходяться в них.

3. Встановлено експериментальні залежності інтервалів часу до плавлення полівінілхлоридної ізоляції електричної проводки при кратності струмів перевантаження від 2 до 5 для мідних (перетином 0,75...6,00 мм²) і алюмінієвих (перетином 2,5...10,0 мм²) проводів і кабелів, а також залежності часу розігріву (до 1083 °С) і остигання (менше 20 °С) силових контактних з'єднань при безперервному електричному іскрінні, аналіз яких підтвердив пожежну небезпеку прояву даного режиму в алюмінієвих і мідних електропроводах, навантажених у межі від 200 до 1400 Вт, що дозволяє обґрунтувати доцільність застосування розроблених засобів захисту щодо попередження випадків можливого загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Отримані в роботі аналітичні залежності ймовірності загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні від частоти появи і тривалості існування небезпечного електричного джерела, надійності засобів захисту і строків їх діагностики, тривалості знаходження горючого матеріалу поблизу можливої появи джерела запалювання були використані в нормативному документі «Методика оцінки рівня безпеки систем електропостачання газових промислів і виробничих приміщень, у яких можливе утворення вибухонебезпечної газоповітряної суміші», розробленому ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» разом з Російським державним університетом нафти і газу ім. І.М. Губкіна й затвердженому ВАТ «Газпром» в 2012 р.

2. Розроблено нову систему попередження випадків загоряння горючого матеріалу в приміщеннях, що мають електричне й газове енергопостачання, яка складається із запатентованих пристроїв (пристрій для захисного відключення

електричної мережі, електрична розетка, електромонтажна коробка для побутових електромереж, комутаційний пристрій, пристрій підключення газових приладів у побутових об'єктах, пристрій діагностики низьковольтної електричної мережі, низьковольтний комплектний пристрій) і способу діагностики низьковольтної електричної мережі, що дозволяє запобігти загорянню горючого матеріалу від небезпечних електричних джерел запалювання шляхом забезпечення безперервного моніторингу, діагностики, сигналізації, захисту і відключення електричної мережі об'єкту.

3. Розроблений, запатентований і виготовлений експериментальний зразок модуля безпечного взаємозв'язку і взаємоексплуатації електричної та газової систем енергопостачання, який відрізняється тим, що дозволяє здійснювати іскробезпечну комутацію в низьковольтній електричній мережі потужністю до 4 кВт, а також він має функції дистанційного і сенсорного управління.

4. Результати роботи були апробовані й використовуються в навчальному процесі кафедри «Електропостачання промислових підприємств і міст» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» при підготовці фахівців і магістрів з дисципліни «Надійність і діагностика електрообладнання».

Особистий внесок здобувача складається в самостійному аналізі вітчизняних і закордонних джерел, участі в постановці мети і задач досліджень, формулюванні основних наукових положень, проведенні теоретичних і експериментальних досліджень, обробці їх результатів і узагальненні висновків, у складанні галузевого нормативного документа з оцінки пожежної безпеки газо- і електрифікованих приміщень, а також у розробці нових технічних рішень щодо забезпечення захисту електричної мережі напругою до 1 кВ.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися: *на міжнародних конференціях*: «Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання і оптимізації» (Кременчук, 2012); «Автоматизація технологічних об'єктів і процесів. Пошук молодих» (Донецьк, 2012); «Вентиляція підземних споруд і промислова безпека в XXI сторіччі» (Донецьк, 2012); «Донбас-2020: Перспективи розвитку очима молодих вчених» (Донецьк, 2012); «Проблеми енергозабезпечення і енергозбереження в АПК України» (Харків, 2012); «Керування режимами роботи об'єктів електричних і електромеханічних систем» (Донецьк, 2013); «Проблеми енергетики і прикладної біофізики в АПК» (Мелітополь, 2013); «Сучасні проблеми систем електропостачання промислових і побутових об'єктів» (Донецьк, 2013); «Електротехнічні комплекси і системи в нафтовій і газовій промисловості» (Москва, 2013); *на всеукраїнських конференціях*: «Сучасні проблеми охорони праці та аерології гірничих підприємств» (Донецьк, 2011); «Наукова весна – 2012» (Дніпропетровськ, 2012); «Сучасні проблеми систем електропостачання промислових і побутових об'єктів» (Донецьк, 2012); *на регіональних конференціях*: «Енерго- і ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин і устаткування» (Донецьк, 2011).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 29 наукових робіт, з яких 2 статті у виданнях, які входять до наукометричних баз, 7 статей у спеціалізованих наукових виданнях, 11 тез і доповідей на науково-

технічних конференціях, отримано 8 патентів України на корисну модель і 1 патент на винахід.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури зі 172 джерел. Робота містить 178 сторінок основного тексту, 71 рисунок, 13 таблиць і 4 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Аналіз випадків загоряння горючого матеріалу в електрифікованих приміщеннях і огляд існуючих підходів і методів оцінки рівня безпеки електропроводок, що експлуатуються в Україні» виконаний аналіз випадків травматизму і загибелі людей через появу загоряння в електрифікованих приміщеннях України, проведена класифікація пожеж із причин їх виникнення, виконаний прогноз пожеж, загибелі й травматизму людей на 2013-2014 р., проаналізовані вимоги пожежної безпеки (ПБ) до сучасних електропроводок, проведений критичний аналіз методик оцінки ПБ електрифікованих приміщень на основі ймовірнісного, евристичного і логіко-ймовірнісного підходів.

Щороку в Україні відбувається в середньому 70 тис. пожеж, від яких гине близько 3 тис. чоловік і 1,6 тис. одержують травми різної важкості. Прямий збиток від пожеж щорічно становить близько 850 млн. грн., що є істотним ударом по бюджету держави. При цьому до 20 % всіх пожеж відбувається через порушення правил ПБ під час влаштування і експлуатації електроустановок (рисунок 1).



Рисунок 1 – Процентний розподіл кількості пожеж з причин їх виникнення, суми нанесеного прямого збитку і загиблих людей

Статистична обробка інтервалів часу між пожежами за 2009-2011 р. через коротке замикання (КЗ) в електропроводах приміщень показала, що апроксимація побудованої статистичної функції розподілу інтервалів часу між пожежами не суперечить експонентній за критерієм згоди Бартлетта з параметром $H = 1,345 \cdot 10^{-6} \text{ рік}^{-1}$ (рисунок 2).

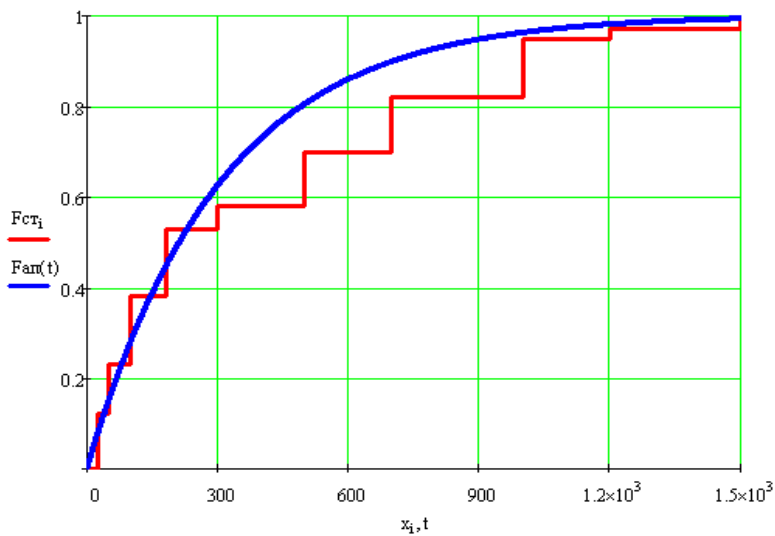


Рисунок 2 – Статистична і апроксимуюча функції розподілу інтервалів часу між пожежами в електрифікованих приміщеннях України з 2009 по 2011 роки

Проведено аналіз основних методів, що застосовуються для оцінки ПБ електрифікованих приміщень. Установлено, що найбільш прийнятними для цих цілей є методи, засновані на застосуванні однорідних марковських випадкових процесів з дискретним числом станів і безперервним часом, оскільки математичні моделі, побудовані на їхній основі, дозволяють крім частоти появи небезпечних подій враховувати і їхню тривалість.

Другий розділ «Розробка математичної моделі процесу формування загоряння в електрифікованих приміщеннях». Передбачається, що загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні відбувається при збігу в просторі й часу наступних трьох подій: відбулося пошкодження електропроводки (КЗ, перевантаження, витік струму на землю, поява ослаблених і небезпечно нагрітих силових контактних з'єднань (СКС)), що перебуває під напругою; відмовила в спрацьовуванні автоматична система захисту; з'явився горючий матеріал поблизу можливого місця ушкодження електричної проводки.

Зміна стану низьковольтної електричної мережі (НЕМ) електрифікованого приміщення, надійності засобів захисту і появи горючого матеріалу в безпосередній близькості від випадкового ушкодження ізоляції електропроводки протягом часу представлено у вигляді трьох регулярних однорідних марковських процесів, відповідно $\alpha(t)$, $\beta(t)$ і $\xi(t)$, із двома дискретними станами (0 – «безпечний» і 1 – «небезпечний») і безперервним часом.

Процес $\alpha(t)$ характеризується параметрами λ_i і μ_i , де $i = \overline{1,4}$ – код ушкодження: $i = 1$ – відбулося КЗ; $i = 2$ – перевантаження; $i = 3$ – витік струму на землю; $i = 4$ – з'явилося ослаблене СКС, що небезпечно іскрить. Параметр λ_i характеризується інтенсивністю ушкодження мережі, частотою переходів зі стану «0» у стан «1», а μ_i характеризується зворотною величиною середньої тривалості існування небезпечного електричного джерела запалювання, частотою переходів зі стану «1» у стан «0».

Процес $\beta(t)$ характеризується параметрами: ω_1 – параметр потоку відмов у спрацьовуванні системи захисту приміщення; γ_1 – швидкість зміни непрацездатних проміжків часу, протягом яких система захисту перебувала в

невиявленому відмовленому стані, на працездатні. Діагностика системи захисту електрифікованого приміщення проводиться з інтервалом часу Θ_1 .

Параметри процесу $\xi(t)$ наступні: ω_2 – параметр потоку появи горючого матеріалу поблизу можливого виникнення небезпечного електричного джерела; γ_2 – швидкість зміни проміжків часу знаходження горючого матеріалу поблизу можливого місця ушкодження мережі на проміжки часу, коли буде його повне усунення. Наявність горючого матеріалу поблизу прокладки провідників електричної мережі або її споживачів виявляється й усувається в результаті проведення профілактичних перевірок з інтервалом часу Θ_2 .

Загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні може відбутися в момент збігу в просторі й часу трьох випадкових процесів у стані 1, тобто коли: $\alpha(t)=1$, $\beta(t)=1$ і $\xi(t)=1$. Передбачається, що в початковий момент часу $\alpha(t)=0$, $\beta(t)=0$, $\xi(t)=0$ і параметри процесів $\alpha(t)$, $\beta(t)$ і $\xi(t)$, тобто їхньої характеристики $\lambda_i; \mu_i$, $\omega_1; \gamma_1$, $\omega_2; \gamma_2$, відомі. Сукупність процесів $\alpha(t)$, $\beta(t)$ і $\xi(t)$ розглядається як один регулярний однорідний марковський процес $\varkappa(t)$ з вісьмома дискретними станами і безперервним часом. У будь-який момент часу процес $\varkappa(t)$ може перебувати в одному з восьми можливих дискретних станів: $e_1(0,0,0)$; $e_2(1,0,0)$; $e_3(0,1,0)$; $e_4(0,0,1)$; $e_5(1,0,1)$; $e_6(0,1,1)$; $e_7(1,1,0)$; $e_8(1,1,1)$. Стан $e_8(1,1,1)$ поглинаючий – потрапивши в цей стан, система «джерело-захист-середовище» з нього вийти не може. У стані $e_8(1,1,1)$ відбувається загоряння горючого матеріалу.

Середній час до першого загоряння горючого матеріалу τ_1 і дисперсію D_1 , якщо в початковий момент часу система «джерело-захист-середовище» перебувала в стані $e_1(0,0,0)$ знаходимо з наступних систем алгебраїчних рівнянь, записаних у матричному вигляді:

$$\tau = (I - Q)^{-1} \xi; \quad (1)$$

$$D = [2(I - Q)^{-1} - I] \tau - \tau^2, \quad (2)$$

де $\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_7)$ – вектор-стовпець; $\xi = (1, 1, \dots, 1)$ – вектор-стовпець, всі елементи якого складаються з 1; I – одинична матриця; $\tau^2 = (\tau_1^2, \tau_2^2, \dots, \tau_7^2)$ – вектор-стовпець.

Матриця Q має вигляд:

$$Q = \begin{pmatrix} c_1 & \lambda_i & \omega_1 & \omega_2 & 0 & 0 & 0 \\ \gamma_1 & c_2 & 0 & 0 & \omega_2 & 0 & \omega_1 \\ \mu_i & 0 & c_3 & 0 & 0 & \omega_2 & \lambda_i \\ \gamma_2 & 0 & 0 & c_4 & \lambda_i & \omega_1 & 0 \\ 0 & \gamma_2 & 0 & \gamma_1 & c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma_2 & \mu_i & 0 & c_6 & 0 \\ 0 & \mu_i & \gamma_1 & 0 & 0 & 0 & c_7 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де: $c_1 = 1 - (\lambda_i + \omega_1 + \omega_2)$; $c_2 = 1 - (\gamma_1 + \omega_1 + \omega_2)$; $c_3 = 1 - (\lambda_i + \mu_i + \omega_2)$;
 $c_4 = 1 - (\lambda_i + \omega_1 + \gamma_2)$; $c_5 = 1 - (\gamma_1 + \omega_1 + \gamma_2)$; $c_6 = 1 - (\lambda_i + \mu_i + \gamma_2)$; $c_7 = 1 - (\mu_i + \gamma_1 + \omega_2)$.

Імовірність знаходження системи «джерело-захист-середовище» протягом часу t в кожному з можливих станів: $e_1(0,0,0), e_2(1,0,0), \dots, e_7(1,1,0)$ визначається з рішення системи лінійних диференціальних рівнянь, записаної в матричному вигляді:

$$\begin{bmatrix} P_1'(t) \\ P_2'(t) \\ P_3'(t) \\ P_4'(t) \\ P_5'(t) \\ P_6'(t) \\ P_7'(t) \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ P_3(t) \\ P_4(t) \\ P_5(t) \\ P_6(t) \\ P_7(t) \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} -c_1 & \lambda_i & \omega_1 & \omega_2 & 0 & 0 & 0 \\ \gamma_1 & -c_2 & 0 & 0 & \omega_2 & 0 & \omega_1 \\ \mu_i & 0 & -c_3 & 0 & 0 & \omega_2 & \lambda_i \\ \gamma_2 & 0 & 0 & -c_4 & \lambda_i & \omega_1 & 0 \\ 0 & \gamma_2 & 0 & \gamma_1 & -c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma_2 & \mu_i & 0 & -c_6 & 0 \\ 0 & \mu_i & \gamma_1 & 0 & 0 & 0 & -c_7 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Система рівнянь (4) вирішується при початкових умовах: $P_1(0) = 1$;
 $P_2(0) = P_3(0) = P_4(0) = P_5(0) = P_6(0) = P_7(0) = 0$.

У тому випадку, якщо виконуються умови:

$$\lambda_i \leq 100\mu_i, \gamma_1 \ll \mu_i, \gamma_2 \ll \mu_i, i = \overline{1,4}; \omega_1 \leq 100\gamma_1; \omega_2 \leq 100\gamma_2; \omega_1\Theta_1 < 0,1; \omega_2\Theta_2 < 0,1 \quad (5)$$

тоді, використовуючи систему рівнянь (1) і матрицю (3), знаходимо час до першого загоряння горючого матеріалу в приміщенні:

$$\tau_1 \approx \frac{\mu_i \gamma_1 \gamma_2}{\lambda_i \omega_1 \omega_2 (\mu_i + \gamma_1 + \gamma_2)}. \quad (6)$$

Якщо працездатність системи захисту перевіряти через інтервал часу Θ_1 , а наявність горючого матеріалу поблизу прокладання електропроводки контролювати через інтервал часу Θ_2 (передбачається, що перевірки абсолютно надійні), тоді параметри γ_1 і γ_2 знаходяться наступним чином:

$$\gamma_1 = \frac{1}{\Theta_1 - \frac{1}{\omega_1}(1 - e^{-\omega_1\Theta_1})}; \quad \gamma_2 = \frac{1}{\Theta_2 - \frac{1}{\omega_2}(1 - e^{-\omega_2\Theta_2})}. \quad (7)$$

Значення τ_1 і D_1 визначаються з рішення системи алгебраїчних рівнянь (1) і (2). У тому випадку, якщо:

$$\tau_1 \approx \sqrt{D_1}, \quad (8)$$

тоді ймовірність загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні можна оцінити за допомогою формули:

$$F_j(t) = 1 - e^{-H_j t}, \quad j = \overline{1,4}, \quad (9)$$

де: $H_1 = 1/\tau_1$ – інтенсивність появи випадків загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні.

Якщо умова (8) не виконується, тоді $F_j(t)$, $j = \overline{1,4}$, для кожного пожежонебезпечного сполучення визначається наступним чином:

$$F_j(t) = 1 - \sum_{i=1}^7 P_i(t), \quad j = \overline{1,4}, \quad (10)$$

де $P_i(t)$ знаходяться з рішення системи лінійних диференціальних рівнянь (4), а ймовірність загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні:

$$Q(t) = 1 - [1 - F_1(t)] \cdot [1 - F_2(t)] \cdot [1 - F_3(t)] \cdot [1 - F_4(t)] \quad (11).$$

У тому випадку, якщо необхідно враховувати всі чотири види ушкоджень: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ і виконується умова (5), інтенсивність появи випадків загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні при виникненні ушкодження електропроводки з урахуванням відмови в спрацьовуванні системи захисту і наявності горючого матеріалу поблизу можливої появи небезпечного електричного джерела запалювання визначається за формулою:

$$\tilde{H} = 0,25 \cdot \omega_1^2 \cdot \Theta_1^2 \cdot \omega_2^2 \cdot \Theta_2^2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4). \quad (12)$$

Графік залежності $Q(\Theta_1, \Theta_2)$ для цього випадку наведений на рисунку 3.

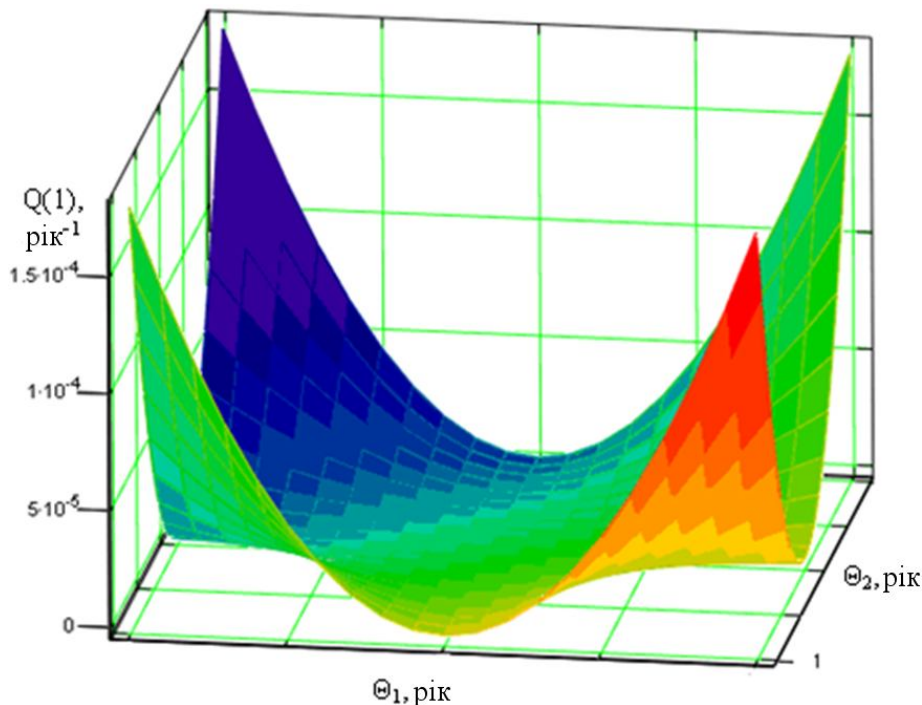


Рисунок 3 – Графік залежності ймовірності появи загоряння в електрифікованому приміщенні протягом року при зміні часу між діагностиками засобів захисту і перевірки наявності горючого матеріалу

Із графіка рисунка 3 видно, що зі зменшенням інтервалів часу Θ_1 і Θ_2 зменшується ймовірність загоряння горючого матеріалу, що знаходиться поблизу можливого місця ушкодження електропроводки приміщення. Отримані системи рівнянь (1), (2), (4) і формули (6), (7), (9) – (12) дозволяють оцінити рівень пожежної небезпеки будь-якого електрифікованого приміщення.

Використання запропонованої математичної моделі дозволяє прогнозувати ймовірність виникнення загоряння горючого матеріалу в електрифікованих приміщеннях і вибрати такі оптимальні з погляду ПБ строки діагностики засобів захисту Θ_1 і строки контролю пожежонебезпечного середовища приміщення Θ_2 , при яких буде забезпечена ПБ приміщення на нормованому рівні $1 \cdot 10^{-6}$.

Щорічний збиток (прямий і побічний) в об'єктах житлового сектора України від загорянь, викликаних електротехнічними причинами, становить близько 150 млн. грн. Застосування запропонованої нової системи попередження випадків загоряння горючого матеріалу в електрифікованих приміщеннях з

параметрами: $\lambda_1 \leq 0,075 \text{ рік}^{-1}$, $\lambda_2 \leq 0,065 \text{ рік}^{-1}$, $\lambda_3 \leq 0,035 \text{ рік}^{-1}$, $\lambda_4 \leq 0,033 \text{ рік}^{-1}$, $\omega_1 \leq 0,058 \text{ рік}^{-1}$, $\omega_2 \leq 0,5 \text{ рік}^{-1}$, $\gamma_1 \leq 30 \text{ рік}^{-1}$, $\gamma_2 \leq 200 \text{ рік}^{-1}$, $\mu_1 \leq 1,58 \cdot 10^8 \text{ рік}^{-1}$, $\Theta_1 = 1 \text{ рік}$ і $\Theta_2 = 0,082 \text{ роки}$ дозволить майже повністю виключити появу загоряння горючого матеріалу по електротехнічних причинах, тобто $Q(1) \leq 0,999 \cdot 10^{-6}$.

Третій розділ «Дослідження, що класифікує особливості виникнення електричних джерел запалювання горючого матеріалу і аналіз застосування технічних засобів захисту» присвячений виявленню першопричин загорянь ізоляції електропроводок і аналізу їхніх наслідків, розкриттю особливостей прояву КЗ, перевантажень, електричного іскріння (ЕІ) або монотонної зміни перехідного опору в СКС, витоків струму на землю й оцінці захистів від них, експериментальним дослідженням стійкості ізоляції сучасних електропроводок до перевантажень і оцінки часу розігріву/остигання електропроводки при безперервному ЕІ в СКС.

Виявлено, що найчастіше КЗ є наслідком об'єднаного впливу на НЕМ різноманітних джерел запалювання (ЕІ або монотонна зміна перехідного опору в СКС, перевантаження, виток струму) з випадковим процентним співвідношенням прояву. Крім того, існуючі засоби захисту не реагують або не завжди адекватні деяким аварійним режимам у НЕМ.

Експериментальні дослідження з визначення стійкості полівінілхлоридної (ПВХ) ізоляції сучасних НЕМ до перевантажень дозволили встановити залежності інтервалів часу до плавлення ПВХ ізоляції при різній кратності струмів перевантажень для найпоширеніших кабельних виробів: силових кабелів марок ВВГ, АВВГ, настановних проводів марок ППВ, АППВ, сполучного шнура марки ШВВП (рисунок 4) і сполучного проводу марки ПВС.

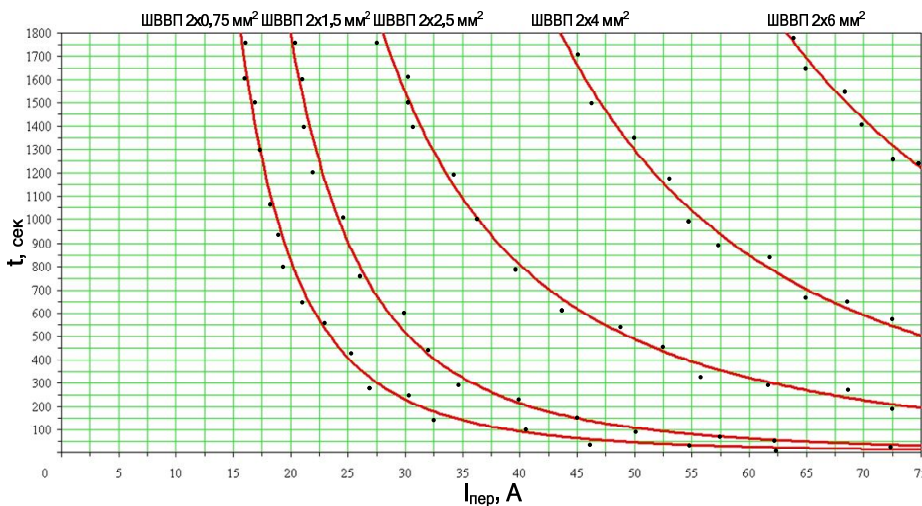
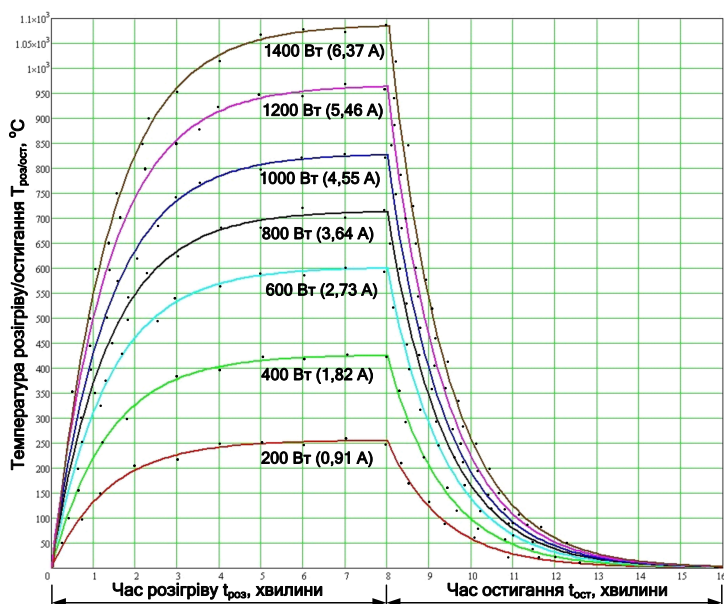


Рисунок 4 – Залежності інтервалів часу до плавлення ПВХ ізоляції при різній кратності струмів перевантаження для сполучного шнура марки ШВВП

Аналіз проведених досліджень показав, що існують випадки невідповідності якості кабельних виробів заявленим технічним характеристикам і це розширило класичне уявлення про поведінку ПВХ ізоляції в номінальних і аварійних режимах її експлуатації.

Експериментальні дослідження з визначення часу розігріву і остигання СКС при безперервному ЕІ в місці з'єднання з електропроводом дозволили одержати залежності (рисунок 5), з використанням яких були сформовані логіка і алгоритми функціонування способу і пристрою вводу в експлуатацію та



діагностики НЕМ. Аналіз кривих підтвердив пожежну небезпеку прояву даного режиму в СКС і електропроводах, виконаних як з алюмінію, так і з міді.

Рисунок 5 – Залежності часу розігріву і остигання СКС при безперервному ЕІ в місці з'єднання з електропроводом

Четвертий розділ «Розробка системи попередження випадків загоряння горючого матеріалу в електрифікованих приміщеннях» присвячений обґрунтуванню технічних вимог на розробку системи попередження випадків загоряння горючого матеріалу, що знаходиться поблизу проводки НЕМ приміщень, а також конструктивному виконанню і випробуванням на функціональність її окремих модулів.

Запропоновано спосіб і пристрій вводу в експлуатацію та діагностики НЕМ (рисунок 6).

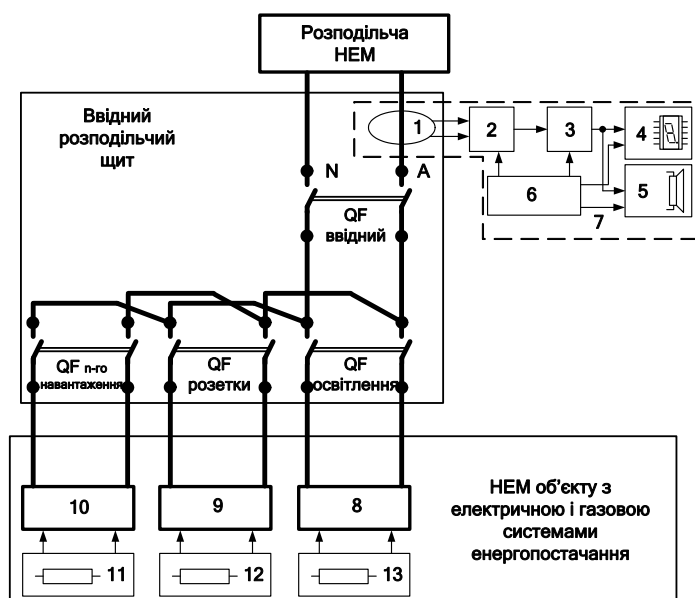


Рисунок 6 – Блок-схема способу вводу в експлуатацію і діагностики НЕМ з пристроєм для його реалізації: 1 – датчик струму навантаження; 2 – блок виділення ВГС; 3 – блок формування сигналів пожежної небезпеки НЕМ; 4 – блок цифрової індикації рівнів пожежної небезпеки НЕМ; 5 – блок звукової індикації рівнів пожежної небезпеки НЕМ; 6 – блок живлення; 7 – пристрій для реалізації способу вводу в експлуатацію і діагностики НЕМ; 8 – освітлювальна НЕМ; 9 – розеточна НЕМ; 10 – НЕМ n-ого навантаження; 11, 12, 13 –

заздалегідь обумовлене активне навантаження, що підключається і відключається

В основу роботи способу і пристрою вводу в експлуатацію та діагностики НЕМ покладений наступний принцип – будь-яке ЕІ або монотонна зміна перехідного опору СКС можуть привести до його розігріву до температури займання ізоляції НЕМ, однак цей же режим супроводжується появою в робочому струмі навантаження НЕМ частотою 50 Гц високочастотних гармонійних складових (ВГС) частотою від 500 Гц і вище. Таким чином, знаючи тривалість

існування ВГС (розігрів СКС) і тривалість пауз між ними (остигання СКС), можна визначити ступінь нагріву СКС, використовуючи залежності, наведені на рисунку 5. У свою чергу це дозволить сформувати сигнали, що відповідають рівням пожежної небезпеки наявної або введеної в експлуатацію НЕМ.

Розроблено пристрій для захисного відключення НЕМ. Принцип побудови такого захисту і алгоритми його роботи ідентичні способу і пристрою вводу в експлуатацію та діагностики НЕМ із тією лише особливістю, що цей захист спрацьовує на відключення НЕМ при досягненні 5 рівня її пожежної небезпеки.

Запропоновано нові конструкції електромонтажної коробки і електричної розетки для НЕМ. Крім того, що ЕІ або монотонна зміна перехідного опору СКС приводять до їх нагріву, воно може супроводжуватися світінням. Таким чином, принцип роботи даних пристроїв заснований на відстеженні теплового й інфрачервоного випромінювання в СКС із наступною світловою і звуковою сигналізацією про необхідність профілактичного огляду даних пристроїв. Крім цього, електрична розетка постачена захистом від КЗ і перевантажень.

Розроблено модуль безпечного взаємозв'язку і експлуатації НЕМ і вузлів газопостачання приміщення (рисунок 7). В основу роботи пристрою покладений принцип реалізації іскробезпечної комутації НЕМ із потужністю навантаження до 4 кВт в ручному і дистанційному режимах за допомогою герметичних магнітокерованих контактів, силових симісторів і оптосимісторів.



Рисунок 7 – Зовнішній вигляд експериментального зразка модуля безпечного взаємозв'язку і експлуатації НЕМ і вузлів газопостачання приміщення з кришкою (а) і без (б)

Для підвищення терміну служби (за допомогою усунення механічних частин) і забезпечення більш комфортної експлуатації даного пристрою був розроблений блок сенсорного керування. Принцип дії блоку заснований на застосуванні технологій «розумний дім», а саме сенсорного датчика дотику QT102, розробленого на ефекті переносу заряду, що дозволяє визначати наближення або дотик будь-якого предмету до електрода датчика.

Для оцінки характеристик і експлуатаційної адекватності пристрою було проведено експериментальне осцилографування сигналів його роботи на кафедрі «Електропостачання промислових підприємств і міст» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (м. Донецьк, Україна) і випробування на іскробезпеку в акредитованому Іспитовому центрі Державного Макіївського науково-дослідного інституту по безпеці робіт у гірничій промисловості (м.

Макіївка, Україна). Випробування показали, що дана розробка відповідає вимогам, пропонованим до електроустаткування групи II з захистом виду «п» і може надалі мати маркування 2ExnIIAT4 згідно НПАОП 40.1-1.32-01.

Застосування запропонованого пристрою в електрифікованих приміщеннях дозволить виключити випадки вибуху побутового газу при перевищенні припустимої концентрації внаслідок його витoku через комутаційне іскріння (дугоутворення) на контактах побутових вимикачів освітлення НЕМ.

Розроблено нову конструкцію низьковольтного комплектного пристрою, в якому реалізована можливість автоматичного видалення пожежонебезпечного пилу і охолодження його внутрішніх електричних частин до безпечної температури при аварійних режимах роботи НЕМ, що дозволяє виключити знаходження горючого матеріалу в безпосередній близькості від можливого пошкодження електричної мережі й тим самим не допустити появи загоряння в електрифікованому приміщенні.

Розроблено принципи побудови, технічні характеристики і особливості функціонування системи попередження випадків загоряння горючого матеріалу в приміщеннях, що мають електричне і газове енергопостачання (рисунок 8). Система є модульною і може застосовуватися в об'єктах різної площі, поверховості й кількості приміщень (кімнат) шляхом використання необхідної кількості вищеписаних пристроїв.

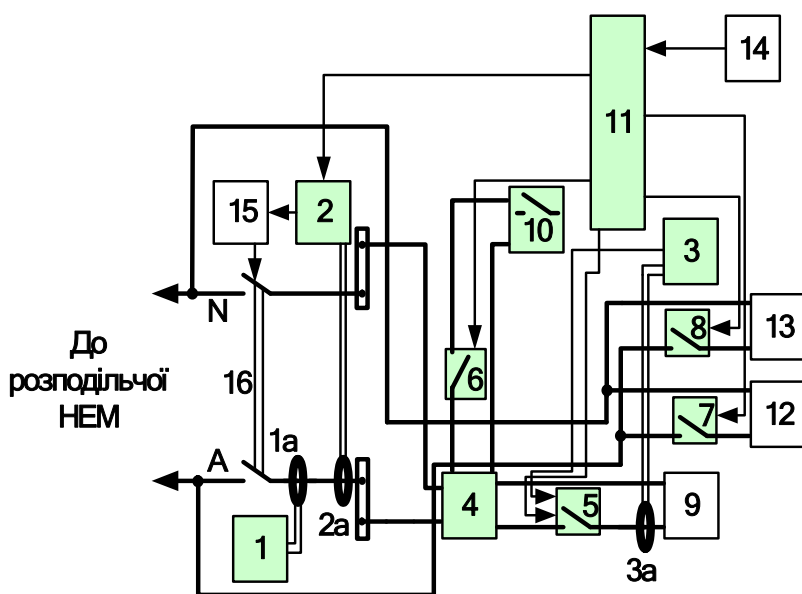


Рисунок 8 – Блок-схема системи попередження випадків загоряння горючого матеріалу в приміщеннях, що мають електричне і газове енергопостачання: 1 – пристрій вводу в експлуатацію і діагностики НЕМ; 2, 3 – пристрій для захисного відключення НЕМ; 1a-3a – датчики струму навантаження; 4 – електромонтажна коробка для НЕМ; 5-8 – модуль безпечної взаємозв'язку і експлуатації НЕМ та вузлів

газопостачання приміщення; 9 – освітлення; 10 – електрична розетка для НЕМ; 11 – блок моніторингу і захисту вузлів газопостачання; 12 – вентилятор провітрювання приміщення; 13 – запірна газова арматура (клапан-відсікач); 14 – датчик процентного вмісту газу в приміщенні; 15 – розчеплювач дистанційний; 16 – диференціальний автомат

Запропонована система попередження випадків загоряння горючого матеріалу в приміщеннях, що мають електричне і газове енергопостачання (рисунок 8), дозволяє забезпечити нормований ГОСТ 12.1. 004-91 рівень ПБ приміщень за умови, що параметр потоку відмов у її спрацьовуванні $\omega_1 \leq 0,058$ рік⁻¹, а інтервал часу між діагностиками її працездатності $\Theta_1 = 1$ рік, що цілком

виконано при сучасному рівні розвитку техніки і технологій. Застосування даної системи дасть можливість не допускати виникнення аварійних ситуацій в електрифікованих приміщеннях шляхом своєчасного відключення, діагностики та інформування людини про можливе пошкодження мережі.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій дано теоретичне обґрунтування і практичне вирішення актуальної науково-технічної задачі прогнозування, оцінки і попередження небезпеки загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні на основі розкриття особливостей формування джерел запалювання ізоляційних матеріалів електропроводки і оздоблювальних матеріалів об'єкта внаслідок прояву аварійних режимів роботи електроустаткування, що дозволило одержати ряд залежностей імовірності загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні протягом року від частоти появи ушкоджень в електропроводці, надійності розроблених засобів захисту і строків їх діагностики, а також частоти появи і тривалості знаходження горючого матеріалу поблизу можливого ушкодження мережі, і таким чином науково обґрунтувати параметри надійності пропонованої системи попередження випадків загоряння горючого матеріалу в електрифікованих приміщеннях, при яких забезпечується їхня безпека.

Основні результати виконаної роботи:

1. У результаті виконаного аналізу виявлено, що щороку в Україні через ушкодження електроустаткування в низьковольтних електричних мережах напругою до 1 кВ відбувається в середньому 14000 загорянь горючого матеріалу, чим наноситься збиток бюджету України в розмірі близько 150 млн. грн., при цьому гине до 500 людей, а 300 одержують травми різного характеру.

2. Установлено, що апроксимація побудованої статистичної функції розподілу інтервалів часу між загоряннями горючого матеріалу в електрифікованих приміщеннях через ушкодження електропроводки не суперечить експонентній функції розподілу за критерієм згоди Бартлетта з параметром $H = 1,345 \cdot 10^{-6} \text{ рік}^{-1}$. Обґрунтовано, що найбільш прийнятними для оцінки ПБ електрифікованих приміщень є методи, засновані на застосуванні однорідних марковських випадкових процесів з дискретним числом станів і безперервним часом.

3. Уперше отримана аналітична залежність імовірності загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні протягом року від частоти появи і тривалості існування різних видів ушкоджень в електропроводці, надійності засобів захисту і строків їх діагностики, яка відрізняється від відомих тим, що вона враховує частоту появи і тривалість знаходження горючого матеріалу поблизу можливих електричних джерел запалювання.

4. Установлено, що застосування пропонованої нової системи попередження випадків загоряння горючого матеріалу в електрифікованих приміщеннях з параметрами: $\lambda_1 \leq 0,075 \text{ рік}^{-1}$, $\lambda_2 \leq 0,065 \text{ рік}^{-1}$, $\lambda_3 \leq 0,035 \text{ рік}^{-1}$, $\lambda_4 \leq 0,033 \text{ рік}^{-1}$, $\omega_1 \leq 0,058 \text{ рік}^{-1}$, $\omega_2 \leq 0,5 \text{ рік}^{-1}$, $\gamma_1 \leq 30 \text{ рік}^{-1}$, $\gamma_2 \leq 200 \text{ рік}^{-1}$,

$\mu_1 \leq 1,58 \cdot 10^8 \text{ рік}^{-1}$, $\Theta_1 = 1 \text{ рік}$ і $\Theta_2 = 0,082 \text{ роки}$ дозволить майже повністю виключити появу загоряння горючого матеріалу з електротехнічних причин з імовірністю $Q(1) \leq 0,999 \cdot 10^{-6}$ і тим самим забезпечити безпеку людей, що знаходяться в них.

5. Уперше запропонована методика оцінки імовірності загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні, вірогідність якої підтверджується тим, що розрахункове значення імовірності виникнення загоряння у квартирі протягом року з електротехнічних причин склало величину $8,75 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1}$ і відрізняється від фактичного значення імовірності пожеж, які відбулися в 2012 році ($7,27 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1}$) на 17 %, що цілком припустимо при імовірнісних розрахунках.

6. На підставі виконаних експериментальних досліджень в галузі стійкості ізоляції електропроводок до перевантажень отримані залежності інтервалів часу до плавлення ізоляції при кратності струмів перевантаження від 2 до 5, для мідних ($0,75 \dots 6,00 \text{ мм}^2$), а також алюмінієвих ($2,5 \dots 10,0 \text{ мм}^2$) проводів і кабелів. Установлено, що починаючи з 3-кратного перевантаження у всіх зразків настає швидке розплавлення ізоляції (мідь до 1 хвилини, алюміній до 30 секунд) з виділенням хлористого водню, що найчастіше свідчить про наявність випадків невідповідності якості кабельних виробів, що випускаються, їх заявленим технічним характеристикам.

7. Експериментально отримані криві часу розігріву (до $1083 \text{ }^\circ\text{C}$) силового контактного з'єднання при безперервному електричному іскрінні і його остигання (менш $20 \text{ }^\circ\text{C}$) підтвердили пожежну небезпеку прояву даного режиму в алюмінієвих і мідних електропроводах, навантажених у межі від 200 до 1400 Вт, і дозволили сформулювати правильну логіку функціонування системи діагностики і моніторингу електропроводки.

8. Розроблені й запатентовані спосіб і пристрій для реалізації вводу в експлуатацію, діагностики і моніторингу електропроводки, що дозволяє оцінити якість монтажу проводів, кабелів, силових контактних з'єднань і виключити в майбутньому формування електричних джерел запалювання, тим самим попередити випадки загоряння горючого матеріалу в приміщеннях від електротехнічних причин перед вводом мережі в експлуатацію.

9. Розроблений і запатентований пристрій для захисного відключення електропроводки, який постачено функціями управління диференціальним автоматом за допомогою дистанційного розчеплювача, що дозволяє захистити електропроводку від прояву електричного іскріння або монотонної зміни перехідного опору в силових контактних з'єднаннях, коротких замикань, перевантажень і витоків струму на землю.

10. Розроблені й запатентовані електромонтажна коробка і електрична розетка, які наділені функціями моніторингу і діагностики власних клемних блоків на предмет електричного іскріння або монотонної зміни перехідного опору, а також електрична розетка постачена захистом від коротких замикань і перевантажень.

11. Розроблені, запатентовані й виготовлені модулі безпечного взаємозв'язку і взаємної експлуатації електричної та газової систем

енергопостачання, які дозволяють здійснювати іскробезпечну комутацію в електропроводках потужністю до 4 кВт, а також вони наділені функціями ручного, дистанційного і сенсорного управління, що дозволяє використовувати їх для побудови різноманітних захистів електропроводок і підвищити їхній термін служби шляхом виключення механічних частин. Випробування виготовлених іскробезпечних комутаційних пристроїв показали, що вони відповідають вимогам до електроустаткування групи II із захистом виду «п» відповідно до ГОСТ Р 52350.15-2005 (МЕК 60079-15:2005), ГОСТ 22782.5-78 (СТ СЕВ 3143-81) і можуть мати маркування 2ExnIIAT4, згідно НПАОП 40.1-1.32-01.

12. Розроблено і запатентовано низьковольтний комплектний пристрій із системою автоматичного видалення пожежонебезпечного пилу, що дозволяє не допускати загоряння горючого матеріалу в електропроводці приміщень шляхом його виключення поблизу можливої появи електричного джерела запалювання.

13. Розроблено нову систему попередження випадків загоряння горючого матеріалу в приміщеннях, що мають електричне і газове енергопостачання, яка дозволяє запобігти загорянню горючого матеріалу від небезпечних електричних джерел запалювання шляхом забезпечення безперервного моніторингу, діагностики, сигналізації, захисту і відключення електричної мережі, що практично повністю забезпечить безпеку електрифікованих приміщень і людей, які знаходяться в них.

ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У виданнях, які входять до наукометричних баз

1. Ковалев А.П. Оценка пожарной опасности сети 0,4/0,22 кВ в промышленных электрифицированных помещениях / А.П. Ковалев, О.Я. Солёная // Ж-л Промышленная энергетика. – № 11 ноябрь. – Москва, НТФ «Энергопрогресс», 2013. – С. 43-46.

2. Ершов М.С. Система обеспечения пожаровзрывобезопасности газифицированных помещений / М.С. Ершов, О.Я. Солёная // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. Сборник научных статей по проблемам нефти и газа. – Выпуск № 3 (272) июль-сентябрь. – Москва, 2013. – С. 99-107.

У спеціалізованих фахових виданнях

3. Сольона О.Я. Методи випробування та введення в експлуатацію електропроводок пасажирських вагонів / О.Я. Сольона, Л.І. Колесник // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Випуск 28. – Донецьк, 2011. – С. 81-85.

4. Сольона О.Я. Розвиток технологічних засобів забезпечення рівня пожежної безпеки низьковольтних електричних мереж / О.Я. Сольона // Науковий вісник УкрНДІПБ. – Київ: УкрНДІПБ МНС України, 2011. – № 2 (24). – С. 139-144.

5. Сольона О.Я. Високоінформативний метод оцінки пожежної безпеки електрифікованих об'єктів / О.Я. Сольона, О.П. Ковальов, О.А. Шевченко // Збірник наукових праць ДВНЗ «Донецький національний технічний університет».

Серія «Електротехніка і енергетика». – Випуск 1 (12) - 2 (13). – Донецьк, 2012. – С. 221-227.

6. Сольона О.Я. Пожежобезпечне енергозабезпечення споживачів АПК України / О.Я. Сольона, О.П. Ковальов, Г.В. Демченко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки. Випуск № 129, «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2012. – С. 34-35.

7. Сольона О.Я. Розвиток конструктивних модулів взаємозв'язку систем вибухо- та пожежобезпеки об'єктів, пов'язаних із життєдіяльністю людини / О.Я. Сольона, В.Г. Олійник, Г.В. Демченко // Науковий вісник УкрНДІПБ. – Київ: УкрНДІПБ МНС України, 2012. – № 2(26) – С. 73-80.

8. Кудинов Ю.В. Совершенствование технических средств для обеспечения взрывопожаробезопасности низковольтных электрических сетей / Ю.В. Кудинов, О.Я. Солёная // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка-МакНИИ, 2013. – 2012 № 2 (30) – С. 109-115.

9. Солёная О.Я. Модернизированное искробезопасное коммутационное устройство с блоками ручного, дистанционного и сенсорного управления / О.Я. Солёная // Збірник наукових праць ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». Серія «Електротехніка і енергетика». – Випуск 1 (14). – Донецьк, 2013. – С. 261-265.

Патенти

10. Патент на Корисну модель № 30720 Україна, МПК(2006) H02H 3/16. Пристрій для захисного відключення електричної мережі / Сольоний С.В., Ковальов О.П., Сольона О.Я.; власник Донецький національний технічний університет. – № u200712197; заявл. 05.11.07; опубл. 11.03.08, Бюл. № 5, 5 іл.

11. Патент на Корисну модель № 70014 Україна, МПК(2006.01) H02H 3/16. Спосіб діагностики низьковольтної електричної мережі / Сольона О.Я., Ковальов О.П., Бенніс Ю.А.; власник ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». – № u201112967; заявл. 04.11.11; опубл. 25.05.12, Бюл. № 10, 6 іл.

12. Патент на Корисну модель № 71854 Україна, МПК(2012.01) H01R 9/00. Електрична розетка / Сольона О.Я., Ковальов О.П., Гудим В.І., Демченко Г.В., Нагорний М.О.; власник ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». – № u201201257; заявл. 07.02.12; опубл. 25.07.12, Бюл. № 14, 5 іл.

13. Патент на Корисну модель № 72224 Україна, МПК(2012.01) H01R 9/00. Електромонтажна коробка для побутових електромереж / Сольона О.Я., Ковальов О.П., Гудим В.І., Демченко Г.В., Бершадський І.А.; власник ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». – № u201201272; заявл. 07.02.12; опубл. 10.08.12, Бюл. № 15, 5 іл.

14. Патент на Корисну модель № 74795 Україна, МПК(2012.01) H01H 9/00, МПК(2006.01) H01H 9/16. Комутаційний пристрій / Сольона О.Я., Ковальов О.П., Кудинов Ю.В., Белоусенко І.В.; власник ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». – № u201205219; заявл. 27.04.12; опубл. 12.11.12, Бюл. № 21, 5 іл.

15. Патент на Корисну модель № 79177 Україна, МПК(2013.01) F24D 10/00. Пристрій підключення газових приладів у побутових об'єктах / Нагорний М.О., Ковальов О.П., Сольона О.Я., Цванг В.В., Демченко Г.В., Рябошапка А.О.;

власник ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». – № u201212813; заявл. 12.11.12; опубл. 10.04.13, Бюл. № 7, 5 іл.

16. Патент на Винахід № 101560 Україна, МПК (2013.01) H02H 3/16 (2006.01), G08B 17/00, G08B 17/06 (2006.01). Спосіб діагностики низьковольтної електричної мережі та пристрій для його здійснення / Сольона О.Я., Ковальов О.П., Заболотний І.П., Демченко Г.В., Рудик Ю.І., Бенніс Ю.А.; власник ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». – № a201112756; заявл. 31.10.11; опубл. 10.04.13, Бюл. № 7, 8 іл.

17. Патент на Корисну модель № 78278 Україна, МПК(2006.01) H01H 9/16. Комутаційний пристрій / Брюханов О.М. Сольона О.Я., Кудінов Ю.В., Ковальов О.П., Демченко Г.В., Кузнецов П.А.; власник Державний Макіївський науково-дослідний інститут з безпеки робіт у гірничій промисловості. – № u201211382; заявл. 02.10.12; опубл. 11.03.13, Бюл. № 5, 5 іл.

18. Патент на Корисну модель № 88268 Україна, МПК (2014.01) H02G 7/00 Низьковольтний комплектний пристрій / Сольона О.Я., Ковальов О.П., Демченко Г.В., Кузнецов П.А., Рябошапка А.О.; власник ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». – № u201311029; заявл. 16.09.13; опубл. 11.03.14, Бюл. № 5, 5 іл.

В тезах доповідей на конференціях

19. Бенніс Ю.А. Аналіз нормативної бази, способів та засобів забезпечення пожежної безпеки електричних мереж змінного струму / Ю.А. Бенніс, С.В. Сольона, О.П. Ковальов // Сучасні проблеми охорони праці та аерології гірничих підприємств. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, студентів і аспірантів ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Інститут гірничої справи та геології, кафедра охорони праці та аерології: 24 листопада 2011 р., Донецьк: ДонНТУ, 2011. – С. 73-77.

20. Сольона О.Я. Методи випробування та введення в експлуатацію електропроводок пасажирських вагонів / О.Я. Сольона, Л.И. Колесник // Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування. Матеріали 3-ої щорічної міжвузівської науково-технічної конференції викладачів, молодих вчених та студентів: 29-30 листопада 2011 р. Донецьк, ДонІЗТ, 2011. – С. 73-74.

21. Солёная О.Я. Исследование температуры нагрева при непрерывном искрении в разборном электрическом контактном соединении / О.Я. Солёная, А.П. Ковалёв, Л.И. Колесник // Енерго- і ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування. Тези 3-ої щорічної міжвузівської науково-технічної конференції Донецького інституту залізничного транспорту: 29-30 листопада 2011 р., Донецьк: ДонІЗТ, 2012. – С. 21-26.

22. Сольона О.Я. Про пожежну небезпеку контактних з'єднань низьковольтних електричних мереж / О.Я. Сольона, О.П. Ковальов // Наукова весна – 2012. Збірник наукових праць III Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених: 29 березня 2012 р., м. Дніпропетровськ: ВНЗ «НГУ», 2012. – С. 377-378.

23. Сольона О.Я. Перспективи розвитку захистів побутових електричних мереж / О.Я. Сольона, О.П. Ковальов, Г.В. Демченко // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць

X Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 28-29 березня 2012 р. – Кременчук, КрНУ, 2012. – С. 354-355.

24. Сольона О.Я. Автоматична система діагностування оперативних ланцюгів пристрою іскрозахисту / О.Я. Сольона, А.П. Ковальов // Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць XII науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 17-20 квітня 2012 р. – Донецьк, ДонНТУ, 2012. – С. 371-373.

25. Ковалёв А.П. Оценка уровня пожаробезопасности в жилом секторе Украины по причине разрядов молнии / А.П. Ковалёв, О.Я. Солёная, В.С. Ищук // Вентиляция подземных споруд та промислова безпека у XXI столітті. Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції: 18 квітня 2012 р., м. Донецьк: «ДВНЗ» ДонНТУ, 2012. – С. 18-20.

26. Сольона О.Я. Пристрій виявлення дефектних або постарілих електричних контактних з'єднань / О.Я. Сольона, О.П. Ковальов // Донбас-2020: Перспективи розвитку очима молодих вчених. Матеріали VI науково-практичної конференції, м. Донецьк, 24-26 квітня 2012 р. – Донецьк, ДонНТУ Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, 2012. – С. 332-336.

27. Сольона О.Я. Вибухо- та пожежобезпечний комутаційний пристрій із дистанційним та примусовим керуванням / О.Я. Сольона, М.С. Єршов, Г.В. Демченко, О.С. Улітко // Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів. Збірник наукових праць I Всеукраїнської науково-технічної конференції викладачів, аспірантів і студентів: 18-19 жовтня 2012 р., м. Донецьк: «ДВНЗ» ДонНТУ, 2012. – С. 20-21.

28. Солёная О.Я. Исследование стойкости изоляции современных электропроводок к перегрузкам / О.Я. Солёная // Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів. Збірник наукових праць I Міжнародної науково-технічної конференції викладачів, аспірантів і студентів: 17-18 жовтня 2013 р., м. Донецьк: «ДВНЗ» ДонНТУ, 2013. – С. 36-39.

29. Солёная О.Я. Испытания искробезопасного коммутационного устройства / О.Я. Солёная, А.П. Ковалев, Г.В. Демченко // Электротехнические комплексы и системы в нефтяной и газовой промышленности. Сборник тезисов докладов Научно-технической конференции молодых ученых: 29 октября 2013 г., г. Москва: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, ОАО «Газпром», 2013. – С. 45-48.

Особистий внесок здобувача в роботи, опубліковані в співавторстві:
 [1, 5, 19, 22, 23, 25] – аналіз методів оцінки пожежної безпеки електропроводок, обробка статистичної інформації, постановка задач дослідження, формування математичної моделі, проведення розрахунків, одержання аналітичних залежностей; [2, 15] – розробка системи забезпечення пожежовибухобезпеки електрифікованих об'єктів; [3, 20] – розробка системи діагностики електропроводки пасажирських вагонів на предмет дефектних електричних контактних з'єднань; [6] – розробка системи моніторингу і захисту електрогосподарства агропромислового комплексу України; [7] – розробка модулів взаємозв'язку для систем пожежо- і вибухобезпеки електрифікованих об'єктів; [8, 17] – розробка іскробезпечного комутаційного пристрою з використанням оптосимісторів в якості силових контактів і у системі дистанційного управління; [11, 16] – розробка способу і системи діагностики низьковольтних електричних мереж; [10, 24, 26] – розробка пристрою

іскрозахисту електропроводок, способів його діагностики і профілактики; [13] – розробка іскробезпечної електромонтажної коробки; [12] – розробка іскробезпечної електричної розетки зі струмовим захистом; [14, 27] – розробка іскробезпечного комутаційного пристрою з використанням силових герметичних магнітних контактів, формування принципів дистанційного управління; [18] – розробка низьковольтного комплектного пристрою з автоматичною системою видалення пожежонебезпечного пилю; [21] – формування програм для обробки експериментальних кривих часу розігріву і остигання електричних контактних з'єднань при безперервному іскрінні; [29] – обґрунтування і підготовка методів випробування іскробезпечного комутаційного пристрою з можливістю дистанційного управління.

АНОТАЦІЯ

Сольона О.Я. Прогнозування, моніторинг і попередження виникнення джерел загоряння горючого матеріалу в електрифікованих приміщеннях. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – Охорона праці. – ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, 2014.

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій дано теоретичне обґрунтування і практичне вирішення актуальної науково-технічної задачі прогнозування, оцінки та попередження небезпеки загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні на основі розкриття особливостей формування джерел запалювання ізоляційних матеріалів електропроводки та оздоблювальних матеріалів об'єкту внаслідок прояву аварійних режимів роботи електрообладнання, що дозволило отримати ряд залежностей імовірності загоряння горючого матеріалу в електрифікованому приміщенні протягом року від частоти появи пошкоджень в електропроводці, надійності розроблених засобів захисту та термінів їх діагностики, а також частоти появи і тривалості знаходження горючого матеріалу поблизу можливого пошкодження мережі, і таким чином науково обґрунтувати параметри надійності пропонованої системи попередження випадків загоряння горючого матеріалу в електрифікованих приміщеннях, при яких забезпечується їх безпека.

Ключові слова: займання горючого матеріалу, плавлення ізоляції, електричне іскріння, пожежна безпека, силове контактне з'єднання, електропроводка, електрифіковане приміщення.

АННОТАЦИЯ

Солёная О.Я. Прогнозирование, мониторинг и предупреждение возникновения источников возгорания горючего материала в электрифицированных помещениях. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.01 – Охрана труда. – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, 2014.

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в которой дано теоретическое обоснование и практическое решение актуальной научно-технической задачи прогнозирования, оценки и предупреждения опасности возгорания горючего материала в электрифицированном помещении на основе раскрытия особенностей формирования источников зажигания изоляционных материалов электропроводки и отделочных материалов объекта вследствие проявления аварийных режимов работы электрооборудования, что позволило получить ряд зависимостей вероятности возгорания горючего материала в электрифицированном помещении в течение года от частоты появления повреждений в электропроводке, надежности разработанных средств защиты и сроков их диагностики, а также частоты появления и длительности нахождения горючего материала вблизи возможного повреждения сети, и таким образом научно обосновать параметры надежности и сроки диагностики предлагаемой системы предупреждения случаев возгорания горючего материала в электрифицированных помещениях, при которых обеспечивается их безопасность.

Впервые получена аналитическая зависимость вероятности возгорания горючего материала в электрифицированном помещении в течение года от частоты появления и длительности существования различных видов повреждений в электропроводке, надежности средств защиты и сроков их диагностики, отличающаяся учетом частоты появления и длительности нахождения горючего материала вблизи возможных электрических источников зажигания.

Установлено, что применение предлагаемой новой системы предупреждения случаев возгорания горючего материала в электрифицированных помещениях с параметрами: $\lambda_1 \leq 0,075 \text{ год}^{-1}$, $\lambda_2 \leq 0,065 \text{ год}^{-1}$, $\lambda_3 \leq 0,035 \text{ год}^{-1}$, $\lambda_4 \leq 0,033 \text{ год}^{-1}$, $\omega_1 \leq 0,058 \text{ год}^{-1}$, $\omega_2 \leq 0,5 \text{ год}^{-1}$, $\gamma_1 \leq 30 \text{ год}^{-1}$, $\gamma_2 \leq 200 \text{ год}^{-1}$, $\mu_1 \leq 1,58 \cdot 10^8 \text{ год}^{-1}$, $\Theta_1 = 1 \text{ год}$ и $\Theta_2 = 0,082 \text{ года}$ позволит почти полностью исключить появление возгорания горючего материала по электротехническим причинам с вероятностью $Q(1) \leq 0,999 \cdot 10^{-6}$ и тем самым обеспечить безопасность находящихся в них людей.

Результаты научных исследований используются в нормативном документе «Методика оценки уровня безопасности систем электроснабжения газовых промыслов и производственных помещений, в которых возможно образование взрывоопасной газозвушной смеси», разработанном ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» совместно с Российским государственным университетом нефти и газа им. И.М. Губкина и утвержденном ОАО «Газпром» в 2012 г.

Получены экспериментальные зависимости интервалов времени до плавления поливинилхлоридной изоляции электропроводки при кратности токов перегрузки от 2 до 5 для медных (сечением 0,75...6,00 мм²) и алюминиевых (сечением 2,5...10,0 мм²) проводов и кабелей, а также зависимости времени разогрева (до 1083 °С) и остывания (менее 20 °С) силовых контактных соединений при непрерывном электрическом искрении, анализ которых подтвердил пожарную опасность проявления данного режима в алюминиевых и медных

электропроводах, нагруженных в пределе от 200 до 1400 Вт, что позволяет обосновать целесообразность применения разработанных средств защиты по предупреждению случаев возможного возгорания горючего материала в электрифицированном помещении.

Разработана новая система предупреждения случаев возгорания горючего материала в помещениях, имеющих электрическое и газовое энергоснабжение, состоящая из запатентованных устройств (устройство для защитного отключения электрической сети, электрическая розетка, электромонтажная коробка для бытовых электросетей, коммутационное устройство, устройство подключения газовых приборов в бытовых объектах, устройство диагностики низковольтной электрической сети, низковольтное комплектное устройство) и способа диагностики низковольтной электрической сети, которая позволяет предотвратить возгорание горючего материала от опасных электрических источников зажигания путем обеспечения непрерывного мониторинга, диагностики, сигнализации, защиты и отключения электрической сети объекта.

Разработан, запатентован и изготовлен экспериментальный образец модуля безопасной взаимосвязи и взаимодействия электрической и газовой систем энергоснабжения, который позволяет осуществлять искробезопасную коммутацию в низковольтной электрической сети мощностью до 4 кВт, а также он имеет функции дистанционного и сенсорного управления.

Ключевые слова: возгорание горючего материала, плавление изоляции, электрическое искрение, пожарная безопасность, силовое контактное соединение, электропроводка, электрифицированное помещение.

ANNOTATION

Solenaya O.Ya. Forecasting, monitoring and the prevention of ignition sources combustible material in the electrified premises. – As the manuscript.

The dissertation for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences, specialty 05.26.01 – Labor protection. – «Donetsk national technical university», Donetsk, 2014.

The dissertation is completed research work, in which a theoretical basis and practical solution of the urgent scientific and technical problems of forecasting, assessment and prevention of fire hazards of combustible material in the room electrified by disclosing the features of formation of ignition sources electrical insulating materials and finishing materials object because manifestations emergency operation of electrical equipment, which led to a number of the probability of ignition of combustible material in the room electrified during the year on the frequency of occurrence of damage in the wiring, reliability developed remedies and terms of diagnosis, as well as the frequency of occurrence and duration of stay of combustible material near the possible damage to the network, and thus scientifically substantiate the reliability parameters of the proposed system to prevent cases of ignition of combustible material in the electrified areas in which their safety is ensured.

Keywords: ignition of combustible material, melting the insulation, electrical arcing, fire safety, power contact connection, wiring, electrified the room.