УДК 614.8

Я.Ю. Кальченко, ад'юнкт, НУЦЗУ,
Ю.О. Абрамов, д.т.н., професор, НУЦЗУ

АЛГОРИТМИ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДАТЧИКІВ ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ СИСТЕМИ ОСЛАБЛЕННЯ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Розроблено алгоритми контролю технічного стану датчиків первинної інформації системи ослаблення наслідків надзвичайних ситуацій, що основані на визначенні його динамічних характеристик.

Ключові слова: датчики первинної інформації, контроль технічного стану, динамічні характеристики.

Постановка проблеми. Своєчасне виявлення надзвичайних ситуацій техногенного характеру, до яких відносяться, наприклад, пожежі, залежить від багатьох факторів, одним з яких є правильне функціонування системи ослаблення наслідків надзвичайних ситуацій. Ефективне функціонування таких систем дозволяє оперативно виявляти чинники надзвичайних ситуацій. Однією з проблем при цьому є своєчасне визначення небезпечних факторів надзвичайної ситуації, а одним із напрямків її вирішення є реалізація профілактичних заходів за допомогою системи їх виявлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливим етапом профілактики є контроль технічного стану датчиків первинної інформації системи ослаблення наслідків надзвичайних ситуацій (далі датчики НС). Методи контролю датчиків НС наводяться у нормативних документах України [1], Росії [2], США [3], Великобританії [4], Франції [5] та Німеччини [6], де пропонується здійснювати їх контроль шляхом створення на його чутливий елемент (далі ЧЕ) вхідного впливу, який еквівалентний впливу при надзвичайній ситуації, вимірюванням часу, за який датчик перейде до режиму «Тривога», та порівняння цього часу з нормативним. Такі випробування не можуть надавати повну інформацію про стан датчика НС, оскільки вони проводяться за принципом «спрацював або не спрацював».

У [7] приведено математичні моделі для визначення часу та температури спрацьовування датчика виявлення НС, які можуть бути використані для контролю його технічного стану. Показано, що обидва параметри залежать від величини постійної часу чутливого елемента датчика НС.

У [8] наведено інформацію про результати експериментальних випробувань для визначення часу спрацьовування датчиків НС, що проводились у тепловому каналі та тестовими осередками пожеж, які

представляли собою горіння гептану та деревини. Показано, що розрахункові значення часу спрацьовування датчиків НС, що були обчислені на основі даних про величину постійної часу датчика, співпадають із значеннями отриманими експериментально.

У [9] наведено огляд випробувань, що проводяться у тепловому каналі “Plunge Tunnel” для визначення індексу часу відгуку датчиків первинної інформації максимального та максимально-диференціального типу та показано, яким чином його визначення можна використовувати для контролю технічного стану датчиків НС. Показано, що методологія визначення індексу часу відгуку спринклерів може бути застосована для розробки способів випробувань датчиків первинної інформації.

З аналізу витікає, що не в повній мірі використовуються можливості теплових камер для реалізації алгоритмів контролю технічного стану датчиків НС, а також, що практично відсутня інформація про динамічні характеристики по результатам контролю технічного стану датчиків НС на об’єктах, що охороняються.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є розробка способів контролю технічного стану датчиків первинної інформації системи ослаблення надзвичайних ситуацій, що основані на визначенні його динамічних характеристик.

При роботі датчика НС в штатному режимі на його чутливий елемент буде здійснюватись тепловий вплив, який обумовлений зміною температури $T(t)$ на об'єкті, що охороняється. Припустимо, що ця зміна температури є контрольованою, змінюється за лінійним законом та використовується як тест-вплив на чутливий елемент датчика НС (рис. 1).

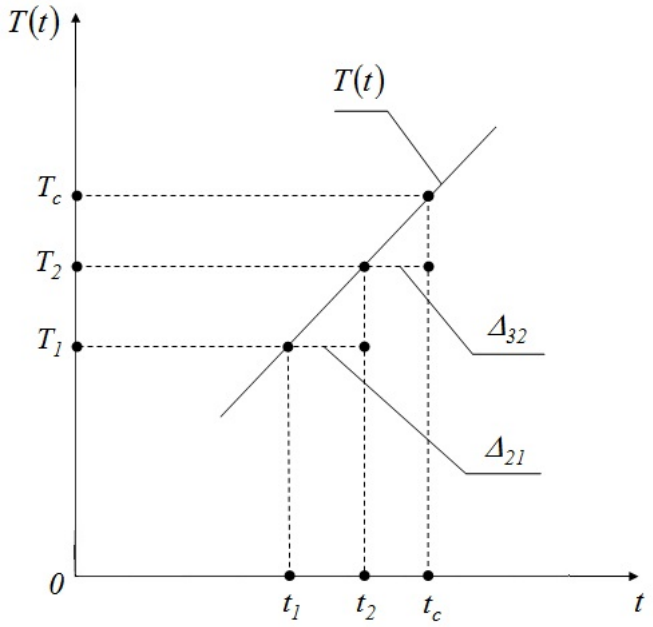

Рис. 1. Залежність температури на об’єкті, що охороняється від часу, яка пояснює суть способу тестування

При досягненні температури фіксованих значень, які пов'язані між собою наступним чином

$$T_1 < T_2 < T_c, \tag{1}$$

де T_c – температура спрацьовування датчика НС, формуються електричні імпульси відповідно в моменти t_1, t_2 та t_c. По мірі формування електричних імпульсів вимірюють інтервали часу між другим і першим електричними імпульсами – $\Delta_{32} = t_2 - t_1$ [10].

Із подібності трикутників можна записати тотожність

$$\frac{T_c - T_2}{T_2 - T_1} = \frac{\Delta_{32}}{\Delta_{21}}. \tag{2}$$

Якщо врахувати можливі зміни температури $T(t)$ на інтервалі часу $t_c - t_1$, то вираз (2) слід переписати наступним чином

$$\left| \frac{T_c - T_2}{T_2 - T_1} - \frac{\Delta_{32}}{\Delta_{21}} \right| \le \xi, \tag{3}$$

де ξ – апріорі задане мале число, яке з урахуванням [1] не перевищує 0,05. Якщо умова (3) виконується, то результат тестування можна вважати позитивним, так як наявність електричного імпульсу в момент часу t_c підтверджує факт досягнення температури порогового значення.

Перевагами такого способу є те, що він є універсальним і може бути застосований для контролю технічного стану датчиків НС будь-якого типу та у штатному режимі функціонування, тобто в процесі виявлення небезпечного фактору НС.

Розглянемо спосіб контролю технічного стану датчиків НС у тепловій камері. Припустимо, що датчик НС розміщують у робочому об’ємі теплової камери, в якій температура зростає з постійною швидкістю і забезпечують постійну масову витрату повітря. Температура в робочій камері буде змінюватися згідно з виразом

$$T(t) = at, \tag{4}$$

де a – швидкість зростання температури у робочому об’ємі теплової камери; t – час.

Одночасно із зміною температури в тепловій камері відповідно до (4) формують модельний сигнал у вигляді

$$M(t) = a\left[t - \tau\left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right]\right], \tag{5}$$

де τ – постійна часу датчика НС, і вимірюють вихідний сигнал $\theta(t)$ теплового пожежного сповіщувача в дискретні моменти часу t_i, де $i = \overline{1,n}$. Ці моменти часу відстоять друг від друга на однаковий інтервал, тобто

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i = \text{const}. \tag{6}$$

Результати вимірів $\theta(t_i)$ порівнюють з модельним сигналом в ті ж моменти часу, тобто із $M(t_i)$.

Якщо величини різниць між вихідними сигналами $\theta(t_i)$ та модельними сигналами $M(t_i)$ не перевищують апріорі заданого малого числа ξ, то можна стверджувати, що технічний стан датчика НС відповідає вимогам нормативних документів. Тоді для визначення технічного стану датчиків НС можна використовувати критерій, який має вигляд

$$\left|\theta(t_i) - M(t_i)\right| \le \xi; \qquad i = \overline{1,n}. \tag{7}$$

Модельний сигнал $M(t)$ визначається виразом

$$M(t) = L^{-1}\left[W(p)\theta(p)\right], \tag{8}$$

де L^{-1} – зворотне перетворення Лапласа; $W(p)$ – передаточна функція датчика НС; $\theta(p)$ – зображення по Лапласу від температури в робочій порожнині теплової камери.

Внаслідок того, що

$$W(p) = (\tau p + 1)^{-1}; \qquad \theta(p) = ap^{-2}, \tag{9}$$

то для модельного сигналу $M(t)$ має місце вираз

$$M(t) = L^{-1}\left[ap^{-2}(\tau p + 1)^{-1}\right] = a\left[t - \tau\left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right]\right]. \tag{10}$$

Модельний сигнал (10) описує динамічні властивості датчика НС при дії на його вхід сигналу і вигляді (4). Порівняння вихідного сигналу

датчика НС $\theta(t)$, що є його реакцією на сигнал (4), із сигналом $M(t)$ забезпечує контроль його технічного стану із урахуванням його динамічних властивостей.

Даний спосіб дозволяє проводити контроль технічного стану датчиків НС у динамічному режимі. Під час проведення контролю технічного стану датчика НС визначається його перехідна функція, а висновок про результат контролю технічного стану робиться не по допустовому принципу «спрацював – не спрацював», а з урахуванням усіх його динамічних властивостей. Також до переваг такого способу контролю технічного стану датчиків НС можна віднести те, що він може бути застосований для випробувань датчиків НС будь-якого типу.

Розглянемо, як інформацію про передаточну функцію та величину постійної часу датчиків НС, можна використовувати для розробки способів контролю їх технічного стану на прикладі датчиків НС з терморезистивним чутливим елементом. Однією з особливостей датчиків такого типу є те, що згідно з законом Джоуля-Ленца тепловий вплив на їх ЧЕ можна створити пропусканням через нього електричного струму.

Припустимо, що через терморезистивний ЧЕ датчиків НС пропускають електричний струм, величина якого змінюється у часі по гармонічному закону із фіксованою частотою ω_0,

$$i(t) = I \sin \omega_0 t, \tag{11}$$

де I – амплітуда електричного струму.

Згідно з законом Джоуля-Ленца теплова дія електричного струму на терморезистивний чутливий елемент теплового пожежного сповіщувача визначається квадратом виразу (11), тобто [11]

$$i^2(t) = I^2 \sin^2 \omega_0 t = \frac{I^2}{2}(1 - \cos 2\omega_0 t). \tag{12}$$

Динамічні властивості такого пожежного сповіщувача визначаються передаточною функцією, яка має вигляд

$$W(p) = K\tau(\tau p + 1)^{-1}, \tag{13}$$

де K – коефіцієнт передачі датчика НС.

Реакція датчика НС із терморезистивним чутливим елементом на теплову дію електричного струму у вигляді (11) має вигляд

$$\theta(t) = L^{-1}\left[W(p) i^2(p)\right], \tag{14}$$

де $i^2(p)$ – зображення по Лапласу від функції (12).

В режимі, що встановився, для перемінної складової $\theta(t)$ має місце

$$\theta_0(t) = \frac{K\tau I^2}{2} \cdot \frac{\cos 2\omega_0 t + 2\omega_0 \tau \sin 2\omega_0 t}{1 + 4\omega_0^2 \tau^2} = \\ = \frac{K\tau I^2}{2\left(1 + 4\omega_0^2 \tau^2\right)} \cos\left(2\omega_0 t - \mathrm{arctg} 2\omega_0 \tau\right). \quad (15)$$

Із виразів (12) та (13) витікає, що фазовий зсув між вихідним сигналом терморезистивного чутливого елемента датчика НС – вираз (15) – і квадратом величини електричного струму – вираз (12) – на частоті, яка дорівнює подвоєному значенню фіксованої частоти ω_0, описується наступним чином

$$\varphi(2\omega_0) = -\mathrm{arctg} 2\omega_0 \tau. \quad (16)$$

Вимір величини $\varphi(2\omega_0)$ дозволяє визначити величину постійної часу τ, яка повністю визначає динамічні властивості датчика НС,

$$\tau = -\frac{\mathrm{tg}\varphi(2\omega_0)}{2\omega_0}. \quad (17)$$

Результат тестування таких датчиків НС визначається за допомогою нерівності

$$-\frac{\mathrm{tg}\varphi(2\omega_0)}{2\omega_0} \le \tau_0, \quad (18)$$

де τ_0 – нормована величина постійної часу теплових пожежних сповіщувачів, що визначена у [1].

Таким чином, використання для формування теплового впливу на терморезистивний ЧЕ датчиків НС електричного струму, величина якого змінюється за гармонічним у часі законом при апріорі фіксованій частоті, зведення цієї величини у квадрат і вимір фазового зсуву $\varphi(2\omega_0)$, а також використання виразу (18), забезпечують контроль технічного стану датчиків НС із терморезистивним чутливим елементом із урахуванням їх динамічних властивостей, які визначаються величиною постійної часу.

Використання даного способу дозволяє здійснювати контроль технічного стану датчиків НС безпосередньо на об’єкті та повністю в автоматичному режимі, що дозволяє скоротити час випробування та

зменшити трудомісткість процесу контролю. До того ж, при здійсненні такого способу контролю технічного стану датчиків НС інформація є більш достовірною, оскільки контроль їх стану здійснюється не в статичному, а в динамічному режимі.

Висновки. В роботі приведені алгоритми контролю датчиків первинної інформації системи ослаблення наслідків надзвичайних ситуацій у теплових камерах та безпосередньо на об'єкті, що охороняється.

Перший алгоритм контролю технічного стану датчиків НС полягає в контролі температури теплового впливу, визначенні інтервалів часу між досягненнями температури ЧЕ датчика фіксованих значень, і порівнянні їх між собою. Другий алгоритм контролю технічного стану датчиків НС полягає у порівнянні модельного сигналу, який описує динамічні властивості датчика НС, з вихідним сигналом його ЧЕ. Такі алгоритми дозволяють в повній мірі використовувати можливості теплових камер для отримання оцінок динамічних властивостей датчиків НС та контролю їх технічного стану.

Третій алгоритм полягає у пропусканні електричного струму через терморезистивний чутливий елемент датчика НС, вимірі його реакції на такий вплив та порівнянні його з апріорі заданою величиною. Такий спосіб контролю технічного стану датчиків НС може бути використаний на об'єкті, що охороняється датчиками із терморезистивним чутливим елементом.

Для технічної реалізації першого способу теплову камеру додатково треба обладнати пристроєм формування електричних імпульсів, другого – пристроєм формування модельного сигналу та пристроєм порівняння, третього – джерелом електричного струму, що формує струм синусоїдальної форми з заданою частотою, фазометром та пристроєм порівняння. Виходячи з цього перший спосіб контролю технічного стану датчиків НС має найлегше технічне рішення, а найскладніше має третій спосіб контролю. Але третій спосіб дозволяє здійснювати контроль технічного стану датчиків НС безпосередньо на об'єкті та в автоматичному режимі, тому за місцем проведення випробувань є кращим за два перші способи, під час яких контроль технічного стану датчиків НС можливо виконувати лише у тепловій камері.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ EN54-5-2003. Системи пожежної сигналізації. Частина 5. Сповіщувачі пожежні теплові точкові. – [Чинний від 2003-16-12]. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 164 с. – (Національні стандарти України).

2. ГОСТ Р 53325-2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний. – [Чинний від 2014-01-01]. – Москва: Стандарт информ, 2012. – 270 с. – (Національні стандарти України).

3. NFPA 72 National Fire Alarm and Signaling Code 2016 Edition.

4. BS 5839-1:2017 Fire detection and fire alarm systems for buildings. Code of practice for design, installation, commissioning and maintenance of systems in non-domestic premises. – [Чинний від 2013-31-03]. – 178 с.

5. Rule APSAD R7 - Automatic Fire Detection.

6. DIN 14675:2003-11 Fire detection and fire alarm systems - Design and operation.

7. LI Qiang. Estimation of Fire Detection Time. In: R. The 5th Conference on Performance-based Fire and Fire Protection Engineering: Procedia Engineering, 2011. hp. 233-243.

8. Soonil Nam. Predicting response times of fixed-temperature, rate-ofrise, and rate-compensated heat detectors by utilizing thermal response time index of detectors. Fire Safety Journal vol.41, 2006, pp. 616-627.

9. Bob Elliott. Response Time Index Testing (RTI) or Methodology for Heat Detection [Электронный ресурс] / B. Elliott. – Электрон. текстовые дан. – Boston, 2006. – Режим доступа:https://www.nfpa.org/-/ media/Files/News-and-Research/Resources/Research-Foundation/ foundation-proceedings/elliott2.ashx?la=en&hash=DFE50C4D7EC5B8B0D37ED841A5620F9BAA438B7, вільний.

10. Пат. 109863 Україна, МПК G08B 29/00, G01K 7/00. Спосіб тестування теплових пожежних сповіщувачів / Абрамов Ю.О., Кальченко Я.Ю., Собина В.О.; заявник і власник патенту Національний університет цивільного захисту України. – № u 2016 02817; заявл. 21.03.2016 ; опубл. 12.09.2016, Бюл. № 17.

11. Пат. 113824 Україна, МПК G08B 17/00, G08B 29/00. Спосіб тестування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом / Абрамов Ю.О., Кальченко Я.Ю., Собина В.О.; заявник і власник патенту Національний університет цивільного захисту України. – № u 2016 09584; заявл. 16.09.2016 ; опубл. 10.02.2017, Бюл. № 3.

Отримано редколегією 22.02.2018

Я.Ю. Кальченко, Ю.А. Абрамов

Алгоритмы контроля технического состояния датчиков первичной информации системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций

Разработаны алгоритмы контроля технического состояния датчиков первичной информации системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций, которые основаны на определении его динамических характеристик.

Ключевые слова: датчики первичной информации, контроль технического состояния, динамические характеристики.

Y.Y. Kalchenko, Y.A. Abramov

Algorithms for control technical condition of primary information sensors of emergency effects mitigation systems

Algorithms for control technical condition of primary information sensors of emergency effects mitigation systems which are based on the definition of their dynamic characteristics has been developed.

Keywords: primary information sensors, frequency characteristics, control technical condition, dynamic characteristics.