

УДК 614.8

В. О. Дурєєв, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-7981-6779)
О. М. Литвяк, д.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-0242-1859)
В. В. Христич, к.т.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-5900-7042)
Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕРМОРЕЗИСТОРНОГО ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА

Розглянуто наукове завдання з розробки математичних моделей терморезисторних теплових пожежних сповіщувачів з урахуванням сукупного впливу типу, матеріалу, конструктивного виконання та геометричних параметрів терморезисторного чутливого елемента на динамічні параметри теплового пожежного сповіщувача. Проведений аналіз літературних джерел довів необхідність детальних досліджень існуючих математичних моделей теплових пожежних сповіщувачів з метою отримання значень їх динамічних параметрів і покращення їх технічних характеристик. Модель являє собою систему диференціальних рівнянь для нестационарного теплообміну та залежності опору чутливого елемента сповіщувача від температури. Рішенням такої системи є інерційно динамічна ланка, що описує роботу теплового пожежного сповіщувача з терморезисторним чутливим елементом. Розроблені математичні моделі для терморезисторів з позитивним та негативним коефіцієнтом температурного опору. Константи та значення номінальних опорів дозволяють урахувати в моделі терморезисторного теплового сповіщувача склад напівпровідникового матеріалу, конструктивне оформлення та геометричні параметри його чутливого елемента. Отримано динамічні ланки, що дозволяють визначити динамічні параметри терморезисторних теплових пожежних сповіщувачів з урахуванням сукупного впливу типу, матеріалу, конструктивного виконання та геометричних параметрів чутливого елемента з позистором та термістором. Визначені рівняння для параметричних досліджень залежності динамічних параметрів сповіщувачів від характеристик чутливих елементів. Порівняння отриманих результатів розрахунку динамічних параметрів з експериментальними даними показує, що розбіжності не перевищують 5 %. Розроблено та наведено рекомендації щодо вибору геометричних характеристик терморезисторних чутливих елементів теплових пожежних сповіщувачів та шляхів покращення їх динамічних параметрів.

Ключові слова: пожежний сповіщувач, математична модель, чутливий елемент, динамічний параметр, інерційність, пожежа

1. Вступ

Досвід застосування автоматичних систем протипожежного захисту (АСПЗ) показав, що для зменшення часу автоматичного спрацювання потрібно зменшувати час виявлення пожежі системою пожежної сигналізації (СПС). У сучасних адресно-аналогових СПС рівні контрольованих чинників пожежі аналізуються в адресно-аналоговому приладі. Тому, сигнали «Попередня тривога» і «Пожежа» формуються в приймальному приладі контрольному пожежному (ППКП). Це дозволяє вводити нові алгоритми обробки сигналу пожежних сповіщувачів (СП) в ППКП і враховувати зміну вимог нормативних документів, що зменшує як загальний час спрацювання пожежної сигналізації, так і кількість помилкових сигналів системи протипожежного захисту. В сучасних СПС, які застосовують такі алгоритми обробки сигналу про пожежу, отримали широке поширення адресно-аналогові СП, від якості роботи яких залежить швидкодія усієї системи загалом. Чутливими елементами (ЧЕ) сучасних СП виступають терморезистори: позистори та термістори. Документація таких СП не завжди містить увесь перелік основних технічних даних, необхідних для визначення ефективності спрацювання пожежної сигналізації. Для дослідження ефективності роботи СПС потрібна інформація

про технічні дані її складових, зокрема знання динамічних параметрів СП та їх чутливих елементів. Динамічні параметри СП можна визначити використовуючи математичну модель, яка враховує діапазон робочих температур, тип, матеріал, геометричні параметри та конструктивне оформлення ЧЕ сповіщувача.

Враховуючи це, покращення динамічних параметрів пожежних сповіщувачів є актуальною та своєчасною проблемою сфери цивільного захисту.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

При пожежах на промислових об'єктах характерне різке збільшення температури. Так, в [1] наведено динаміку зміни температури поверхні при інтенсивній пожежі, з урахуванням відстані від джерела нагріву. Отримані дані дозволяють визначити оптимальні динамічні параметри СП в лабораторних умовах та перевірити значення інерційності, динамічної температури та часу спрацювання визначених аналітично.

В [2] наведено принципи застосування та особливості підключення терморезисторів різних типів: позисторів, опір яких із збільшенням температури зростає та термісторів, опір яких із ростом температури падає. Наведено температурні та вольт-амперні характеристики. Показані основні параметри та залежності для визначення температурного коефіцієнту опору, постійної часу з урахуванням опору терморезистору в діапазоні робочих температур. Проте математичні моделі терморезисторів для визначення їх динамічних параметрів не представлені.

В [3] наведено сучасний підхід вибору схеми СП, коли імпеданс ЧЕ перетворюється в електричний сигнал напруги та струму. Показано, що ЧЕ виступає терморезистор, а у якості моделі СП виступає функція перетворювача у вигляді вихідної напруги. Проте, в роботі не розглянуті різні види терморезисторів та не ураховувалися матеріал та конфігурація ЧЕ сповіщувача.

В [4] показано, що ознакою спрацювання СП виступає збільшення саморегульованого порогу відносно вихідного значення, а факт запалення відображується у вигляді згладжування характеристичної функції для генерування динамічної оцінки виявлення загоряння. Проте, в такому підході не розглядується застосування терморезисторів різних типів.

В [5] представлено математичне визначення гарантованого виявлення займання для саморегульованих СП, за рахунок не реєстрації помилкових спрацювань сповіщувачів. Проте, зазначенні переваги пов'язані з алгоритмами обробки сигналів СП та не ураховують фізичні властивості ЧЕ сповіщувачів.

В [6] досліджуються СП, які автоматично адаптуються до умов застосування, що зменшує як загальний час спрацювання СПС, так, і кількість помилкових сигналів, що видають СП при виявленні горіння легкозаймистих речовин. Проте, для досягнення наведеного позитивного ефекту виконане теоретичне обґрунтування критеріїв виявлення пожежі та розроблені алгоритми і структура СП для дискретного та неперервного режимів контролю середовища. Дослідження комплексного впливу діапазону робочих температур, типу та матеріалу ЧЕ, його геометричних параметрів та конструктивного оформлення не проводилося.

В [7] в результаті моделювання роботи СП отримано динамічне рівняння сповіщувача у вигляді інерційної ланки. Визначено, що зменшення постійної часу сповіщувача призводить до зростання коливань вихідного сигналу, що в свою чергу веде до зростання кількості помилкових спрацювань СП. Запропоновано теоретичне обґрунтування методу підвищення швидкодії СП при реалізації не-

стаціонарної динамічної корекції вихідного сигналу ЧЕ. Проте, в роботі не розглянуто типи ЧЕ, не враховуються їх конструктивні особливості.

В [8] розроблено методику визначення динамічних характеристик теплових СП при дослідженнях в тепловій камері. Розглянуто рівняння динаміки СП та отримані перехідні характеристики сповіщувача при лінійному зростанні температури. Наведена методика не враховує особливості сповіщувача у вигляді типу та матеріалу чутливого елемента, його геометричних параметрів та конструктивного оформлення.

В [9] розглянуто моделювання роботи терморезисторних СП, в яких в якості ЧЕ виступає термістор. Вимірювалися температура спрацювання, інерційність для різних видів пожежі та варіантів розташування сповіщувача. Результати моделювання порівнювалися з експериментальними результатами. Було підтверджено перевагу застосування терморезисторних теплових СП за мінімальною інерційністю спрацювання. Проте, відмічено, що урахування в моделі СП способу нагріву та особливостей конструкції СП значно ускладнює теоретичні розрахунки. Урахування комплексного впливу особливостей ЧЕ на вплив динамічних параметрів не проводилося.

При моделюванні роботи ЧЕ СП в СПС широко застосовуються пакети програм Maple, MatCad, VisSim [10], що дозволяють виконувати дослідження характеристик динамічних систем. Однак, в зазначених пакетах не представлені елементи, що дозволяють в повному обсязі моделювати зміну температури спрацювання, коефіцієнта посилення та інерційності теплового пожежного сповіщувача, при сукупному впливі матеріалу, типу, конструктивних особливостей чутливого елемента теплового пожежного сповіщувача, при відомому номінальному опорі.

Таким чином, невирішеною частиною проблеми є розробка математичної моделі теплового СП з урахуванням сукупного впливу типу, матеріалу, конструктивного виконання та геометричних параметрів терморезисторного ЧЕ на динамічні параметри сповіщувача.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є дослідження сукупного впливу типу, матеріалу, конструктивного виконання та геометричних параметрів терморезисторного чутливого елемента теплового пожежного сповіщувача на динамічні параметри його роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- побудувати математичні моделі теплових пожежних сповіщувачів з урахуванням сукупного впливу типу, матеріалу, конструктивного виконання та геометричних параметрів терморезисторного чутливого елемента;
- отримати рівняння динаміки теплових пожежних сповіщувачів;
- визначити залежності для отримання динамічних параметрів теплових пожежних сповіщувачів.

4. Розробка математичних моделей теплових пожежних сповіщувачів з позистором та термістором

В сучасних СП у якості терморезисторного ЧЕ можливе застосування як позисторів (СП Бриз-11) так і термісторів (СПТ-2Б Артон). Розрахункова схема терморезисторного ЧЕ СП представлена на рис. 1.

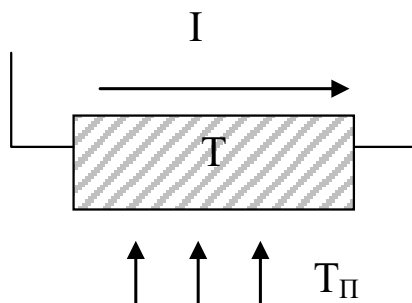


Рис. 1. Розрахункова схема терморезистора

Математичну модель ЧЕ теплового СП у вигляді динамічної ланки отримаємо з рівняння для нестационарного теплообміну при критерії Біо $< 0,1$ (розподіл температури рівномірний) та рівняння зміни опору терморезистору.

Кількість тепла, що передана і поглинена терморезистором:

$$C \cdot m \cdot d \frac{dT}{d\tau} + \alpha F dT = \alpha F dT_{\Pi}, \quad (1)$$

де C – теплоємність матеріалу термістора, Дж·кг⁻¹·К⁻¹; m – маса термістора, кг; T – температура термістора, К; τ – час, сек; α – коефіцієнт конвекційного теплообміну, Вт·м⁻²·К⁻¹; F – площа поверхні термістора, м²; T_{Π} – температура навколишнього повітря, К.

Згідно [1], залежність опору R_{Π} позистора в діапазоні робочих температур змінюється за експоненціальним законом:

$$R_{\Pi} = R_{\text{НП}} \cdot e^{A \cdot T}, \quad (2)$$

де $R_{\text{НП}}$ – номінальний опір позистора, Ом; A – температурний коефіцієнт опору, К⁻¹; T – поточна температура позистора, К.

Для переходу до лінійного рівняння динаміки позистора, дорівнюємо диференціали лівої та правої частини рівняння (2):

$$dR_{\Pi} = R_{\text{НП}} \cdot A \cdot e^{A \cdot T_0} dT, \quad (3)$$

де T_0 – значення температури позистора в вихідній точці, К.

Згідно [1], залежність опору R_T термістора від температури, з урахуванням матеріалу напівпровідника і конструктивних особливостей термістора дорівнює:

$$R_T = AT^b e^{B/T}, \quad (4)$$

де A , b , B – константи, що визначають склад напівпровідникового матеріалу термістора і конструктивне оформлення чутливого елемента; T – поточна температура термістора, К.

Для спрощення інженерних розрахунків при $b \ll 1$ приймаємо, що константа A відповідає опору термістора при нескінченно великій температурі [1]. При цьому, для підвищення точності і зручності визначення R_T , запропоновано враховувати номінальний опір:

$$R_T = R_{HT} e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_H}\right)}, \quad (5)$$

де R_{HT} – номінальний опір термістора, Ом, при номінальній температурі T_H , К.

Тоді, рівняння (5) з урахуванням (4) має вигляд:

$$R_T = R_{HT} T^b e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_H}\right)}. \quad (6)$$

Прирівняємо диференціали лівої і правої частини:

$$dR_T = \left[R_{HT} T^b e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_H}\right)} \right]' dT; \quad (7)$$

$$\frac{dR_T}{dT} = bT^{(b-1)} R_{HT} e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_H}\right)} - T^b \frac{B}{T^2} R_{HT} e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_H}\right)}. \quad (8)$$

Або:

$$\frac{dR_T}{dT} = bT^{(b-1)} R_t + T^b \beta R_t = T^{(b-1)} R_t (b + T\beta); \quad (9)$$

$$R_t = R_{HT} e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_H}\right)}; \quad \beta = -\frac{B}{T^2}, \quad (10)$$

де R_t – опір термістора при номінальній температурі, Ом; β – температурний коефіцієнт.

Таким чином, математична модель терморезисторного теплового СП являє собою систему диференціальних рівнянь для нестационарного теплообміну (1) та залежності опору ЧЕ сповіщувача від температури для позистора (3) та термістора (9). Розроблені моделі дозволяють урахувати сукупний вплив типу, матеріалу, конструктивного виконання та геометричних параметрів терморезисторного ЧЕ.

5. Визначення рівнянь динаміки для сповіщувачів з позистором та термістором

Для визначення рівнянь динаміки СП об'єднаємо рівняння теплового балансу і опору в математичних моделях позистора і термістора.

У випадку ЧЕ з позистором підставимо (3) в (1), отримаємо:

$$\frac{C \cdot m}{R_{HP} \cdot A \cdot e^{A \cdot T_0}} \cdot d \frac{dR_{II}}{dt} + \frac{\alpha \cdot F}{R_{HP} \cdot A \cdot e^{A \cdot T_0}} \cdot dR_{II} = \alpha \cdot F \cdot dT_{II}. \quad (11)$$

Лінеаризуємо рівняння (11) методом повного диференціалу та виконаємо перехід до відносних змінних:

$$\frac{C \cdot m}{R_{\text{НП}} \cdot A \cdot e^{A \cdot T_0}} \cdot \dot{\Delta R_{\text{П}}} + \frac{\alpha \cdot F}{R_{\text{НП}} \cdot A \cdot e^{A \cdot T_0}} \cdot \Delta R_{\text{П}} = \alpha \cdot F \cdot dT_{\text{П}}. \quad (12)$$

$$\bar{r} = \frac{\Delta R_{\text{П}}}{R_0}; \quad \dot{\bar{r}} = \frac{\dot{\Delta R_{\text{П}}}}{R_0}; \quad \bar{t}_{\text{П}} = \frac{\Delta T_{\text{П}}}{T_{\text{П}0}}, \quad (13)$$

де R_0 – опір позистора у вихідній точці, Ом; $T_{\text{П}0}$ – температура повітря у вихідній точці, К.

Рівняння динаміки позистора у відносних змінних має стандартний вигляд:

$$T_{\text{П}} \dot{\bar{r}}_{\text{П}} + \bar{r}_{\text{П}} = K_{\text{П}} \bar{t}_{\text{П}}; \quad (14)$$

$$T_{\text{П}} = \frac{C \cdot m}{\alpha \cdot F}; \quad K_{\text{П}} = R_{\text{НП}} \cdot A \cdot e^{A \cdot T_0} \frac{T_{\text{П}0}}{R_0}, \quad (15)$$

де $T_{\text{П}}$ – постійна часу позистора, с; $K_{\text{П}}$ – коефіцієнт посилення позистора.

У випадку ЧЕ з термістором, підставимо (9) в (1), отримаємо:

$$\frac{C \cdot m}{R_t T^{b-1} (b + \beta T)} \cdot d \frac{dR_T}{d\tau} + \frac{\alpha \cdot F}{R_t T^{b-1} (b + \beta T)} \cdot dR_T = \alpha \cdot F \cdot dT_{\text{П}}. \quad (16)$$

Після лінеаризації (16) методом повного диференціала отримано рівняння динаміки СП, що ураховує сукупний вплив матеріалу напівпровідника термістора, конструктивні особливості ЧЕ та номінальний опір:

$$T_T \dot{\bar{r}}_T + \bar{r}_T = K_T \bar{t}_{\text{П}}; \quad (17)$$

$$T_T = \frac{C \cdot m}{\alpha \cdot F}; \quad K_T = \frac{T_{\text{П}0}}{R_{T0}} R_t T^{b-1} (b + \beta T), \quad (18)$$

де T_T – постійна часу термістора, сек; K_T – коефіцієнт посилення термістора; \bar{r}_T , $\bar{t}_{\text{П}}$ – відносні змінні.

Таким чином, отримані інерційні динамічні ланки, що описують роботу терморезисторного теплового СП, ЧЕ якого є позистор (14) та термістор (17). В рівняннях динаміки ураховується сукупний вплив типу ЧЕ, його матеріалу, конструктивного виконання та геометричних параметрів.

6. Отримання залежності динамічних параметрів сповіщувачів від характеристик чутливого елемента

Експериментально інерційність $T_{\text{СП експ}}$ сповіщувача визначається за динамічною та статичною температурами спрацювання:

$$T_{\text{СП ЕКСП}} = \frac{(t_{\text{ДИН}} - t_{\text{СТАТ}})}{(dt/d\tau)_0 \cdot \frac{1}{60} K_{\text{СП}}}, \quad (19)$$

де $t_{\text{ДИН}}$ – динамічна температура спрацювання СП, К; $t_{\text{СТАТ}}$ – статична температура спрацювання СП, К; $(dt/d\tau)_0$ – задана швидкість зміни температури, [К/сек]; $K_{\text{СП}}$ – коефіцієнт посилення СП.

Для визначення динамічних параметрів СП, а саме: динамічної температури та часу спрацювання при відомій швидкості зростання температури:

$$t_{\text{ДИН}} = t_{\text{СТАТ}} + K_{\text{СП}} T_{\text{СП}} (dt/d\tau)_0 \cdot \frac{1}{60}; \quad (20)$$

$$\tau_{\text{СПР}} = \frac{(t_{\text{СТАТ}} - t_0) + T_{\text{СП}} (dt/d\tau)_0 \cdot \frac{1}{60}}{(dt/d\tau)_0 \cdot \frac{1}{60}}, \quad (21)$$

де $T_{\text{СП}}$ – постійна часу СП, що визначається теоретично (15, 18) чи експериментально (20), сек; t_0 – базисне значення температури повітря, К.

На рис. 2 представлено порівняльні результати розрахунків динамічної температури (20) та часу спрацювання (21) з експериментальними даними для СП Бриз-11 при встановленій швидкості зростання температури.

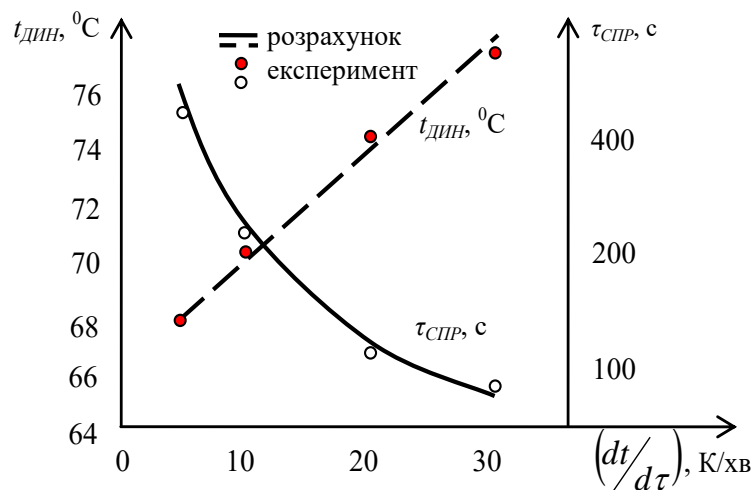


Рис. 2. Залежність $t_{\text{ДИН}}$ и $\tau_{\text{СПР}}$ від $(dt/d\tau)_0$ для СП Бриз-11

Таким чином, отриманні рівняння для визначення динамічних параметрів терморезисторного теплового СП, з сукупним урахуванням типу, матеріалу, конструктивного виконання та геометричних параметрів ЧЕ сповіщувача.

7. Обговорення результатів дослідження впливу чутливого елемента на динамічні параметри сповіщувача

Розроблені математичні моделі терморезисторних теплових СП являють собою систему диференціальних рівнянь для нестационарного теплообміну та залеж-

ності опору ЧЕ від температури. Отримані моделі дозволяють урахувати склад напівпровідникового матеріалу ЧЕ, його конструктивне оформлення та геометричні параметри за рахунок використання в моделі параметрів ЧЕ у якості їх констант: b для ЧЕ з позистором; A , b , B для ЧЕ з термістором та значення номінальних опорів R_{HP} , R_{HT} , для ЧЕ з позистором та термістором. Існуючі математичні моделі СП не містять даних параметрів та не дозволяють комплексно урахувати склад напівпровідникового матеріалу, конструктивне оформлення та геометричні параметри ЧЕ.

Отримані рівняння динаміки терморезисторних теплових СП дозволяють проводити параметричні дослідження динамічних параметрів: постійної часу, динамічної температури та часу спрацювання, з урахуванням сукупного впливу властивостей чутливих елементів. Складові, які входять в отримані рівняння, ураховують склад напівпровідникового матеріалу чутливих елементів та їх конструктивне оформлення. Порівняння отриманих результатів розрахунку динамічних параметрів СП Бриз-11 з експериментальними даними показує, що розбіжності не перевищують 5 %.

Відмічено, що згідно проведених розрахунків, при відомій швидкості зростання температури інерційність терморезисторного теплового СП залежить від типу, матеріалу та конструктивного виконання чутливого елемента, за рахунок впливу на динамічну та статичну температури спрацювання СП.

Отримані результати розрахунків дозволяють визначити оптимальне конструктивне оформлення ЧЕ терморезисторного теплового СП, що в свою чергу дозволить покращити динамічні параметри сповіщувача, а саме: інерційність, статичну та динамічну температури та час спрацювання.

Слід зазначити, що наведені моделі СП можуть бути застосовані при умові відомих значень номінальних опорів ЧЕ в діапазоні робочих температур. Крім того, в моделі СП з позистором рівняння залежності опору ЧЕ від температури урховує менше параметрів, що описують оформлення та конструктивні особливості ЧЕ, ніж у випадку термістора. Таким чином, подальший розвиток запропонованого підходу в створенні математичних моделей теплових СП з терморезисторним ЧЕ полягає в можливості урховувати зміну номінальних опорів ЧЕ при зміні робочого діапазону температур та більш широке урховання параметрів ЧЕ з позистором. Рівняння динаміки СП, яким буде рішення такої моделі стає значно складнішим, ніж інерційна ланка першого порядку, що в свою чергу значно ускладнює визначення динамічних параметрів сповіщувача.

8. Висновки

1. Обґрунтовано та розроблено математичні моделі терморезисторних теплових пожежних сповіщувачів з позитивним та негативним коефіцієнтом залежності опору від температури при заданому значенні номінального опорів чутливого елемента в діапазоні робочих температур. Встановлено, що для урховання сукупного впливу складу, матеріалу, конструкції терморезисторного чутливого елемента на динамічні параметри пожежного сповіщувача, модель сповіщувача наряду з номінальним опором терморезистора, повинна містити параметри, що визначають склад напівпровідникового матеріалу чутливого елемента, його конструктивне оформлення та геометричні параметри. Розроблена математична модель пожежного сповіщувача з позистором містить 2 параметра чутливого елемента: номінальний опір та склад речовини. Математична модель пожежного сповіщувача. DOI: 10.52363/2524-0226-2022-35-21

віщувача з термістором містить 4 параметра чутливого елемента: номінальний опір, склад речовини, оформлення та розміри чутливого елемента.

2. Отримані рівняння динаміки теплового пожежного сповіщувача з урахуванням сукупного впливу властивостей позисторного та термісторного чутливих елементів. Рівняння являють собою інерційні пропорційні ланки з постійними коефіцієнтами і мають зручну форму для визначення та проведення досліджень динамічних параметрів сповіщувача: інерційності, температури та часу спрацювання при відомій швидкості зростання температури. Теоретично визначено та експериментально підтверджено, що урахування в отриманому рівнянні динаміки коефіцієнтів, які відповідають типу, матеріалу та конструктивному виконанню чутливого елемента, ураховує більш детальний вплив інерційності на динамічну та статичну температури при відомій швидкості зростання температури спрацювання сповіщувача.

3. Визначені рівняння для параметричних досліджень залежності динамічних параметрів сповіщувачів від характеристик чутливих елементів. Порівняння отриманих результатів розрахунку динамічних параметрів сповіщувача Бриз-11 з експериментальними даними показує, що розбіжності не перевищують 5 %. Для зменшення інерційності спрацювання терморезисторних теплових сповіщувачів з позистором та термістором, необхідно зменшити масу і збільшити площу чутливого елемента. Також для поліпшення конвективного теплообміну на чутливий елемент доцільно розмістити пластинчатий радіатор. Під час проведення подальших досліджень підвищену увагу потрібно звернути на урахування можливості зміни номінального опору чутливого елемента при зміні або розширенні діапазону робочих температур та більш широке урахування параметрів чутливого елемента з позистором.

Література

1. Abramov Y., Basmanov O., Salamov J., Mikhayluk A. Model of thermal effect of fire within a dike on the oil tank. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018. Vol. 2. P. 95–100. doi: 10.29202/nvngu/2018-2/12
2. Щупляк Н. М. Основи електроніки і мікроелектроніки. ДМТК. 2012. 179 с. <https://studfile.net/preview/4512513/page:16>
3. Andronov V., Pospelov B., Rybka E. Increase of accuracy of definition of temperature by sensors of fire alarms in real conditions of fire on objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 4. № 5–82. P. 38–44. doi: 10.15587/1729-4061.2016.75063
4. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Skliarov S. Research into dynamics of setting the threshold and a probability of ignition detection by selfadjusting fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5. № 9–89. P. 43–48. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110092>
5. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Skliarov S. Design of fire detectors capable of self-adjusting by ignition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 4. № 9–88. P. 53–59. doi: 10.15587/1729-4061.2017.108448
6. Andronov V., Pospelov B., Rybka E., Skliarov S. Examining the learning fire detectors under real conditions of application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 3. № 9–87. P. 53–59. doi: 10.15587/1729-4061.2017.101985
7. Andronov V., Pospelov B., Rybka E. Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise*

Technologies. 2017. Vol. 2. № 9–86. P. 32–37. doi: 10.15587/1729-4061.2017.96694

8. Abramov Y., Kalchenko Y., Liashevskaya O. Determination of dynamic characteristics of heat fire detectors. EUREKA, Physics and Engineering. 2019. Vol. 3. P. 50–59. doi: 10.21303/2461-4262.2019.00898

9. Park H.-W., Cho J.-H., Mun S.-Y., Park C.-H., Hwang C.-H., Kim S.-C., Nam D.-G. Measurement of the Device Properties of Fixed Temperature Heat Detectors for the Fire Modeling. Fire Science and Engineering. 2014. Vol. 28 (1). P. 37–43. doi: 10.7731/kifse.2014.28.1.037

10. Забара С. Моделювання систем у середовищі MATLAB. Університет «Україна». 2015. 137 с. <https://www.yakaboo.ua/modeljuvannja-sistem-u-seredovischi-matlab.html>

V. Durieiev, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

O. Lytviak, DSc, Associate Professor, Associate Professor of the Department

V. Khrystych, PhD, Associate Professor, Deputy Head of Department

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

MATHEMATICAL MODEL OF THE THERMISTOR FIRE DETECTOR

The scientific task of developing mathematical models of thermistor thermal fire detectors is considered, taking into account the combined influence of the type, material, design and geometric parameters of the thermistor sensitive element on the dynamic parameters of the thermal fire detector. The analysis of literary sources proved the need for a detailed study of the existing mathematical models of thermal fire detectors in order to obtain the values of their dynamic parameters and improve their technical characteristics. The model is a system of differential equations for non-stationary heat exchange and the dependence of the resistance of the sensitive element of the detector on temperature. The solution of such a system is an inertial dynamic link that describes the operation of a thermal fire detector with a thermistor sensitive element. Mathematical models for thermistors with positive and negative coefficient of temperature resistance have been developed. The constants and values of the nominal resistances make it possible to take into account the composition of the semiconductor material, the structural design and the geometric parameters of its sensitive element in the model of the thermistor thermal detector. Dynamic links have been obtained that allow determining the dynamic parameters of thermistor thermal fire detectors, taking into account the combined influence of the type, material, design and geometric parameters of the sensitive element with a posistor and thermistor. Equations for parametric studies of the dependence of the dynamic parameters of detectors on the characteristics of sensitive elements have been determined. A comparison of the obtained results of the calculation of dynamic parameters with experimental data shows that the discrepancies do not exceed 5%. Recommendations on the selection of geometric characteristics of thermistor sensitive elements of thermal fire detectors and ways to improve their dynamic parameters have been developed and given.

Keywords: fire detector, mathematical model, sensitive element, dynamic parameter, inertia, fire

References

1. Abramov, Y., Basmanov, O., Salamov, J., Mikhayluk, A. (2018). Model of thermal effect of fire within a dike on the oil tank. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 95–100. doi: 10.29202/nvngu/2018-2/12

2. Shchuplyak, N. M. (2012). *Osnovi elektroniki i mikroelektroniki*. DMTK, 179. <https://studfile.net/preview/4512513/page:16>

3. Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E. (2016). Increase of accuracy of definition of temperature by sensors of fire alarms in real conditions of fire on objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4, 38–44. doi: 10.15587/1729-4061.2016.75063

4. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Research into Fire Safety. DOI: 10.52363/2524-0226-2022-35-21

dynamics of setting the threshold and a probability of ignition detection by selfadjusting fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5, 43–48. doi: 10.15587/1729-4061.2017.110092

5. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Design of fire detectors capable of self-adjusting by ignition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4, 53–59. doi: 10.15587/1729-4061.2017.108448

6. Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Examining the learning fire detectors under real conditions of application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, 53–59. doi: 10.15587/1729-4061.2017.101985

7. Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E. (2017). Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 32–37. doi: 10.15587/1729-4061.2017.96694

8. Abramov, Y., Kalchenko, Y., Liashevskaya, O. (2019). Determination of dynamic characteristics of heat fire detectors. *EUREKA, Physics and Engineering*, 3, 50–59. doi: 10.21303/2461-4262.2019.00898

9. Park, H.-W., Cho, J.-H., Mun, S.-Y., Park, C.-H., Hwang, C.-H., Kim, S.-C., Nam, D.-G. (2014). Measurement of the Device Properties of Fixed Temperature Heat Detectors for the Fire Modeling. *Fire Science and Engineering*, 28 (1), 37–43. doi: <https://doi.org/10.7731/kifse.2014.28.1.037>

10. Zabara, S. Modelyuvannya sistem u seredovishchi MATLAB. (2015). Universitet Ukraïna, 137. <https://www.yakaboo.ua/modeljuvannja-sistem-u-seredovischi-matlab.html>

Надійшла до редколегії: 18.04.2022

Прийнята до друку: 16.06.2022