

УДК 614.8

*В. О. Дурєєв, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-7981-6779)*  
*В. В. Христич, к.т.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID0000-0002-5900-7042)*  
*С. М. Бондаренко, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-4687-1763)*  
*О.А. Антошкін, к.т.н., ст. викладач каф. (ORCID ID 0000-0003-2481-2030)*  
*М. В. Маляров, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID ID 0000-0002-4052-7128)*

*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*  
**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ МАГНІТНОКОНТАКТНОГО  
ТЕПЛОВОГО ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА**

Розроблено математичні моделі пожежного сповіщувача з урахуванням залежності намагніченості контактів чутливого елемента від температури та параметрів матеріалу контактів. Отримані рівняння динаміки СП ураховують тип та структуру матеріалів контактів ЧЕ та залежність їх намагніченості від температури і відповідають інерційній позиційній ланці першого порядку, записаній у відносних змінних з постійними коефіцієнтами. В результаті вивчення актуальної літератури в моделях враховано характеристики матеріалу магнітних контактів для визначення його оптимальних динамічних параметрів. Математичною моделлю сповіщувача є система рівнянь, що складається з рівняння теплового балансу в умовах нестационарного теплообміну з припущенням рівномірного прогріву контактів чутливого елемента по усій глибині. Друге – рівняння зв'язку намагніченості контактів, запаяних в герконі, від температури. Отримані рівняння динаміки сповіщувача ураховують тип та структуру матеріалів контактів ЧЕ та залежність їх намагніченості від температури і відповідають інерційній позиційній ланці першого порядку. Змінні рівняння є відносними щодо крапки лінеаризації, з постійними коефіцієнтами. Рівняння дозволяють проводити дослідження параметрів роботи сповіщувача з принципом залежності магнітної індукції від температури. Рівняння динаміки дозволяють досліджувати динамічні параметри роботи теплових СП, відносна погрішність результатів не перевищує 5%. Отримані результати моделювання роботи пожежного сповіщувача підтверджують правильність обраної гіпотези, а визначені параметри роботи СП співпадають з даними експерименту. Результати проведених досліджень дозволяють надати рекомендації по вибору параметрів роботи сповіщувачів, що покращить якість їх спрацювання: статичну та динамічну температури спрацювання, інерційність, час спрацювання.

Ключові слова: сповіщувач пожежний, чутливий елемент, модель сповіщувача, постійна часу, час спрацювання, температура спрацювання сповіщувача.

## **1. Вступ**

Використання сповіщувачів пожежних (СП) з чутливим елементом (ЧЕ), що працює за принципом залежності магнітної індукції від температури обумовлено простотою їх експлуатації, надійністю роботи та вигідними тактико-технічними параметрами відносно їх вартості.

В якості ЧЕ такого теплового СП виступає герметичний контакт, який містить в своєму складі контакти з магнітночутливого матеріалу, який змінює свої магнітні властивості при зміні температури оточуючого середовища.

Матеріал контактів та його структура впливають на параметри спрацювання такого СП і визначаються динамічними параметрами складових ЧЕ в умовах зміни їх теплового стану. В свою чергу, залежність намагніченості контактів ЧЕ визначається їх складовою речовиною. Ураховуючи різноманіття речовин, що можуть бути застосовані в якості магнітних контактів ЧЕ, параметри спрацювання таких СП значно відрізняються один від одного. Паспорт теплових СП практично не містить технічні данні ЧЕ і не описує динамічні параметри роботи СП в умовах, коли оточуюча температура змінюється. Відповідно, щоб покращити якість роботи системи протипожежного захисту, треба змоделювати спрацювання теплового СП в умовах зміни температури оточуючого середовища для типової структури матеріалу його контактів, що є дуже важливим для визначення параметрів спрацювання СП.

Тому актуальним є проведення досліджень направлених на розробку сповіщувачів пожежних з покращеними динамічними параметрами.

## **2. Аналіз літератури та постановка проблеми**

В [1] наведені результати досліджень зміни температури поверхні з урахуванням висоти джерела високоінтенсивного теплового потоку. Визначені параметри спрацювання теплового СП. Показано можливість застосування наведеного методу визначення параметрів роботи перспективних теплових СП на підставі співпадіння отриманих результатів моделювання з паспортними даними існуючих СП. Проте, дослідження роботи ЧЕ з залежністю магнітної індукції від температури в наведеній публікації не проводилося.

В [2] представлені результати досліджень намагніченості м'яких феритів при різній температурі. Зроблено висновок, коли при загальній нелінійній залежності намагніченості від температури, для робочого діапазону ( $20 \div 100$ )°C залежність наближується до лінійній з похибками, що перевищують заданих значень. Такий результат цілком задовольняє застосування м'яких феритів в якості контактів ЧЕ СП. Проте моделювання застосування м'яких феритів в якості контактів ЧЕ СП не проводилося.

В [3] проводилися дослідження температурного впливу зовнішнього середовища на магнітну індукцію фериту. Дослідження виконані для умов максимального показника намагніченості для м'яких феритів. Отримані результати дозволяють визначити величину магнітної індукції феритів в умовах зміни напруги. Визначено, що величина магнітної індукції фериту зменшується при збільшенні температури в діапазоні ( $0 \div 60$ )°C. Представлено теоретичне обґрунтування наведеної залежності, що математично описує зміну намагніченості фериту при зміні температури у м'якому марганець-цинковому фериті та обумовлено можливість застосування даних типів феритів у якості ЧЕ теплового СП для практичних температурних інтервалів роботи. Аналітичних рівнянь для визначення намагніченості не представлено.

В [4] наведено приклад визначення структури Mn–Zn фериту з визначеними магнітними властивостями для різних температур. В межах ( $8,36 \div 17,54$ ) нм визначено структуру та розмір кристалічної решітки фериту з

заданими параметрами намагніченості, подібними параметрам м'яких феритів. Проте математичного моделювання роботи Mn–Zn фериту в умовах зміни температури не проводилося. Рівнянь залежності магнітних властивостей Mn–Zn фериту від температури також не наведено.

В [5] виконана робота по створенню фериту з визначеними параметрами структурної решітки та намагніченості. В роботі наведено зразки та магнітні параметри наночасток та структури феритів з урахуванням типу їх кристалічної решітки. Виконані експериментальні дослідження структури і намагніченості феритів в діапазоні температур, що задовольняє їх практичне застосування ( $-160 \div 130$ )°C. Показано функціональну залежність магнітних властивостей розроблених феритів від значень температури і магнітних властивостей оточуючого поля. Наведено формули для отримання рівня магнітної індукції в умовах зміни оточуючої температури. Проте моделей застосування феритів в якості ЧЕ теплового СП не приведено.

В [6] проведені дослідження впливу структури, розміру часток та кристалічної решітки феритів різної структури на параметри їх намагніченості. Представлено результати з визначення середнього розміру феритних часток та їх структури. Визначено вплив часу формування структури однотипних феритних матеріалів на параметри їх намагніченості. Виявлено зв'язок магнітних властивостей феритів від зміни часу та температури формування структури та кристалічної решітки. Проте питання щодо застосування феритів в якості чутливого елемента, який реагує на зміну температури, не розглянуто.

В [7] наведено графічні залежності, отримані при дослідженні намагніченості м'яких NiCoZn феритів. Доведено, що представлені матеріали мають виражені залежності магнітних властивостей від температури. Визначено та теоретично обґрунтовано механізм впливу структури матеріалу на його магнітні властивості. Показано формули для визначення магнітного моменту від молекулярної маси і магнітного рівня матеріалу. Наведені значення отриманих магнітних властивостей фериту, та показано їх залежність від структури та температури. Однак, залежностей для визначення магнітних властивостей феритів не приведено.

В [8] розглянуто температурний вплив на сердечник з фериту з різною структурою його матеріалу та доміжками SiO<sub>2</sub>. Наведені результати магнітних властивостей фериту з урахуванням його структури та концентрації доміжок. Температурний вплив на зміну намагніченості фериту не досліджувався.

В [9] наведено результати моделювання впливу температури та зовнішніх сил на намагніченість магнітом'яких феритів. Представлено графоаналітичні залежності, отримані в результаті дослідження намагніченості феритів різної структури при змінному зовнішньому впливі. Показано, що урахування структури фериту дозволяє більш точно визначити його намагніченість. В роботі представлено структурні моделі магнітом'яких феритів, що дозволяє визначити їх намагніченість для різних температур та зовнішньому впливі. Проте в роботі не наведено аналітичні залежності для визначення намагніченості феритів з урахуванням їх структури, а представлені графічні

залежності не дозволяють їх застосувати при дослідженні впливу структури інших типів феритів на їх магнітні властивості.

Дослідження намагніченості феритних наночастинок в умовах зміни температури проводилося в [10]. Магнітні властивості феромагнітних наночастинок описуються законом Блоха та задаються показником температури. Показано співпадіння теоретично розрахованих параметрів з результатами експерименту. Проте, питання застосування феритних наночастинок в якості ЧЕ теплових СП не розглядалися. Моделювання застосування повнорозмірних ЧЕ з матеріалу, який складається з феромагнітних наночастинок не виконувалося.

В [11] досліджувалися магнітні властивості феромагнітів зі структурою, що складається з однодоменних феритів, суперпарамагнітних феритів в умовах слабого і сильного магнітного впливу, з урахуванням параметрів намагніченості феромагнітів від зовнішніх магнітних полів та температурного впливу.

Наведено методичку визначення рівнянь динаміки та динамічних параметрів ЧЕ теплових СП з феритами різних типів та структури. Але можливість застосування феритів загальної та м'якої структури, марганець-цинкових та на основі кобальту, які мають дуже виражені магнітні властивості, не розглядалися в представленій праці.

Додатки, що дозволяють виконати математичне моделювання роботи теплового СП з урахуванням типу і принципу роботи ЧЕ та провести параметричні дослідження динамічних параметрів ЧЕ та СП представлено в [12]. Розроблені математичні моделі теплових СП з урахуванням структурних характеристик феритних контактів, оброблювалися з застосуванням програм VisSim та Maple. Проте, математичне дослідження моделі теплового СП з застосуванням отриманих рівнянь динаміки у відповідних програмах можливе лише на кінцевому етапі, коли моделювання роботи СП вже виконано з урахуванням особливостей їх роботи.

Отже, невирішеною частиною проблеми покращення ефективності роботи системи раннього виявлення пожежі, є моделювання роботи теплового пожежного сповіщувача з урахуванням магнітних властивостей чутливого елемента.

### **3. Мета та завдання дослідження**

Метою роботи є моделювання роботи теплового сповіщувача з принципом залежності магнітної індукції від температури, для дослідження залежності його динамічних параметрів від характеристик чутливого елемента.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішення наступних завдань:

- розробити математичну модель пожежного сповіщувача з урахуванням характеристик чутливого елемента;
- отримати рівняння динаміки сповіщувача та дослідити параметри його роботи.

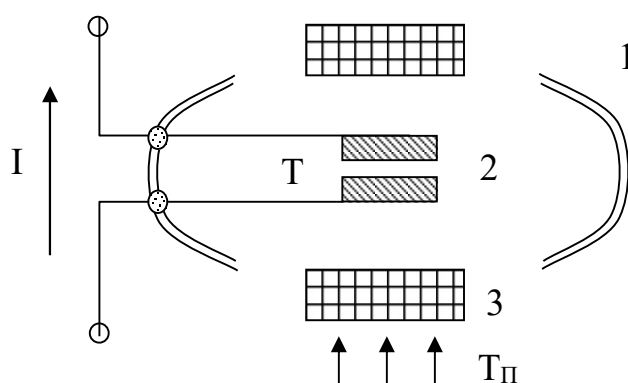
### **4. Матеріали та методи досліджень**

В якості об'єкту дослідження прийнято залежність магнітних властивостей контактів сповіщувача від зміни температури. Предметом дослідження є моделювання спрацювання сповіщувача для дослідження його динамічних параметрів. У якості гіпотези прийнято припущення про рівномірний прогрів контактів сповіщувача при визначені їх намагніченості.

Структурно-динамічна модель сповіщувача розроблена з використанням програми VisSim [12]. Дослідження намагніченості контактів СП з урахуванням їх структури при зміні температури та параметричні дослідження динамічних параметрів СП виконувалися з застосуванням програми Maple. Дослідження параметрів спрацювання сповіщувача проводилося при визначені постійної часу, динамічної температури спрацювання, інерційності та часу спрацювання для заданої швидкості зміни температури.

### 5. Розробка математичної моделі сповіщувача

Схема теплового СП з залежністю магнітної індукції від температури (СПТМ-70) має вигляд, рис. 1.



**Рис. 1.** Розрахункова схема теплового СП з залежністю магнітної індукції від температури: 1 – герметичний контакт; 2 – намагнічені контакти; 3 – магніт

В якості математичної моделі СП приймемо систему рівнянь, що складається з рівняння теплового балансу в умовах нестационарного теплообміну з припущенням рівномірного прогріву контактів ЧУ по усій глибині (критерій Біо < 0,1)

$$C_m \cdot d \frac{dT}{d\tau} + \alpha F d T = \alpha F d T_{\text{п}}, \quad (1)$$

де  $m$  – маса контактів, кг;  $C$  – теплоємність, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  $\tau$  – час, сек;  $T$  – поточна температура контактів, К;  $F$  – площа, м<sup>2</sup>;  $\alpha$  – коефіцієнт конвекційного теплообміну, Вт·м<sup>-2</sup>·К<sup>-1</sup>;  $T_{\text{п}}$  – температура оточуючого середовища, К.

Також до системи рівнянь входить залежність магнітних властивостей контактів ЧЕ від температури. Так для м'яких марганець-цинкових (Mn-Zn) феритів, залежність намагніченості від температури [2]

$$M_{MZ} = M_{SAT} \left[ \operatorname{cth} \left( \frac{H}{k_B T} \right) - \frac{k_B T}{H} \right], \quad (2)$$

де  $M_{SAT}$  – намагніченість насичення м'якого Mn-Zn фериту, А/м;  $H$  – зовнішнє магнітне поле, А/м;  $k_B$  – постійна Больцмана, Дж/К.

Для м'яких феритів на основі кобальту [5]

$$M_{Co} = M_{S0} - C \left[ e^{\frac{-E_1}{k_B T}} + e^{\frac{-E_2}{k_B T}} \right], \quad (3)$$

де  $M_{S0}$  – намагніченість при початковій температурі, А/м;  $C = M_{S0}/N$  – постійна що ураховує структуру матеріалу, де  $N$  – число Авогадро, моль<sup>-1</sup>;  $E_1, E_2$  – енергетичні рівні структури фериту.

Для м'яких феритів в умовах високих температур, з урахуванням закону Блоха і температурних властивостей [5]

$$M_{NB} = M_0 (1 - B_L T^{1,5} + C_{NB} T); \quad B_L = 2,614 V_0 \left( \frac{k_B}{4\pi D} \right)^{1,5}, \quad (4)$$

де  $M_0$  – намагніченість при початковій температурі, А/м;  $B_L$  – фактор Блоха;  $V_0$  – атомний об'єм феритних наночасток (ФН), м<sup>3</sup>; діаметр ФН  $D$ , м;  $C_{NB}$  – температурний коефіцієнт, 1/К.

Для ФН що задовольняють рівнянням Ейлера-Маклорена [5]

$$M_N = \frac{1,5\zeta}{(2\pi JS)^{1,5}} (k_B T)^{1,5} - \frac{1,5\zeta}{\pi JSN} k_B T, \quad (5)$$

де  $\zeta$  – функція Рімана;  $J, S, N$  – параметри, що ураховують структуру решітки ФН, м.

Для моделювання залежності намагніченості контактів ЧЕ від температури дорівнюємо в рівняннях (2 ÷ 5) диференціали лівої та правої частин

$$\frac{dM_{MZ}}{dT} = \frac{k_{MZ1}}{\operatorname{sh}^2 \left( \frac{k_{MZ2}}{T} \right)} \frac{1}{T^2} + k_{MZ3}; \quad k_{MZ1} = \frac{M_{SAT} H}{k_B}; \quad k_{MZ2} = \frac{H}{k_B}; \quad k_{MZ3} = -M_{SAT} \frac{k_B}{H}; \quad (6)$$

$$\frac{dM_{Co}}{dT} = \frac{k_{c1} + k_{c2}}{T^2}; \quad k_{c1} = -C e^{\frac{-E_1}{k_B T}} \cdot \frac{E_1}{k_B}; \quad k_{c2} = -C e^{\frac{-E_2}{k_B T}} \cdot \frac{E_2}{k_B}; \quad (7)$$

$$\frac{dM_{NB}}{dT} = k_{NB1} \sqrt{T} + k_{NB2}; \quad k_{NB1} = -1,5 M_0 B_L; \quad k_{NB2} = M_0 C; \quad (8)$$

$$\frac{dM_N}{dT} = k_{N1}\sqrt{T} - k_{N2}; \quad k_{N1} = \frac{2,25\zeta}{(2\pi JS)^{1,5}} k_B^{1,5}; \quad k_{N2} = \frac{1,5\zeta}{\pi JSN} k_B .$$

(9)

Таким чином, математична модель теплового СП являє собою систему рівнянь (1), (6 ÷ 9) та ураховує тепловий баланс контактів ЧЕ, та залежності намагніченості феритових контактів ЧЕ СП від типу та структури контактів ЧЕ при зміні температури.

### 6. Отримання рівняння динаміки сповіщувача та дослідження параметрів його роботи.

Для визначення рівнянь динаміки СП та дослідження параметрів його роботи, підставимо рівняння залежності намагніченості від температури (6 ÷ 9) до рівняння теплового балансу (1).

Для м'яких Mn-Zn феритів

$$C_m \cdot \frac{\text{sh}^2\left(\frac{k_{MZ2}}{T}\right) T^2}{k_{MZ1} + k_{MZ3} \text{sh}^2\left(\frac{k_{MZ2}}{T}\right) T^2} \cdot \frac{d}{dt} dM_{MZ} + \alpha F \cdot \frac{\text{sh}^2\left(\frac{k_{MZ2}}{T}\right) T^2}{k_{MZ1} + k_{MZ3} \text{sh}^2\left(\frac{k_{MZ2}}{T}\right) T^2} \cdot \frac{d}{dt} dM_{MZ} = \alpha F \cdot \Delta T_{II}$$

; (10)

$$T_{MZ} \dot{\bar{m}} + \bar{m} = K_{MZ} \bar{t}_{II}, \quad (11)$$

де

$$T_{MZ} = \frac{C_m}{\alpha F}; \quad K_{MZ} = \frac{k_{MZ1} + k_{MZ3} \text{sh}^2\left(\frac{k_{MZ2}}{T}\right) T^2}{\text{sh}^2\left(\frac{k_{MZ2}}{T}\right) T^2} \frac{T_{II0}}{M_{MZ0}}, \quad (12)$$

де  $M_{MZ0}$  – намагніченість м'якого Mn-Zn фериту у вихідній точці, А/м;  $T_{II0}$  – температура навколишнього середовища у вихідній точці, К;  $T_{MZ}$  – динамічний параметр СП (постійна часу), с;  $K_{MZ}$  – динамічний параметр СП (коефіцієнт посилення);  $\bar{m}$ ,  $\bar{t}_{II}$  – відносні змінні.

Намагніченість м'якого фериту на основі кобальту

$$C_m \cdot \frac{T^2}{k_{c1} + k_{c2}} \cdot \frac{d}{dt} dM_C + \alpha F \cdot \frac{T^2}{k_{c1} + k_{c2}} \cdot dM_C = \alpha F \cdot \Delta T_{II}; \quad (13)$$

$$T_C \dot{\bar{m}} + \bar{m} = K_C \bar{t}_{II}, \quad (14)$$

де

$$T_C = \frac{C_m}{\alpha F}; \quad K_C = \frac{k_{c1} + k_{c2}}{T^2} \frac{T_{II0}}{M_{C0}}, \quad (15)$$

де  $M_{C0}$  – намагніченість м'якого кобальтового фериту у вихідній точці, А/м;  $T_C$  – динамічний параметр СП (постійна часу), с;  $K_C$  – динамічний параметр СП (коефіцієнт посилення).

Намагніченість м'яких феритів, що задовольняють закону Блоху i з урахуванням температурного коефіцієнту

$$C_m \cdot \frac{1}{k_{NB1} \sqrt{T} + k_{NB2}} \cdot \frac{d}{d\tau} dM_{NB} + \alpha F \cdot \frac{1}{k_{NB1} \sqrt{T} + k_{NB2}} \cdot dM_{NB} = \alpha F \cdot \Delta T_{II}; \quad (16)$$

$$T_{NB} \frac{\dot{m} + \bar{m}}{m} = K_{NB} \bar{t}_{II}, \quad (17)$$

де

$$T_{NB} = \frac{C_m}{\alpha F}; \quad K_{NB} = k_{NB01} \sqrt{T} \frac{T_{II0}}{M_{NB0}}, \quad (18)$$

де  $M_{NB0}$  – намагніченість ФН у вихідній точці, А/м;  $T_{NB}$  – динамічний параметр СП (постійна часу), с;  $K_{NB}$  – динамічний параметр СП (коефіцієнт посилення).

Намагніченість ФН що задовольняють рівнянням Ейлера-Маклорена

$$C_m \cdot \frac{1}{k_{N1} \sqrt{T} - k_{N2}} \cdot \frac{d}{d\tau} dM_N + \alpha F \cdot \frac{1}{k_{N1} \sqrt{T} - k_{N2}} \cdot dM_N = \alpha F \cdot \Delta T_{II}; \quad (19)$$

$$T_N \frac{\dot{m} + \bar{m}}{m} = K_N \bar{t}_{II}, \quad (20)$$

де

$$T_N = \frac{C_m}{\alpha F}; \quad K_N = (k_{N1} \sqrt{T} - k_{N2}) \frac{T_{II0}}{M_{N0}}. \quad (21)$$

де  $M_{N0}$  – намагніченість ФН у вихідній точці, А/м;  $T_N$  – динамічний параметр СП (постійна часу), с;  $K_N$  – динамічний параметр СП (коефіцієнт посилення).

В результаті отримано рівняння (11, 14, 17, 20) динаміки, що описують роботу теплового СП з принципом дії, що урахує залежність магнітної індукції при зміні температури навколишнього середовища. Ураховуються матеріал контактів ЧЕ та їх структура. Після отримання параметрів динаміки (12, 15, 18, 21), дослідимо параметри роботи СП використовуючи підхід [11]

$$T_{СП} = \frac{60 \cdot (T_{ДИН} - T_{СТАТ})}{\frac{dT}{d\tau} \cdot K_{СП}}; \quad (22)$$

$$T_{ДИН} = \frac{60 T_{СТАТ} + K_{СП} T_{СП} \cdot \frac{dT}{d\tau}}{60}; \quad (23)$$



$$\tau_{\text{СПР}} = \frac{60 \cdot (T_{\text{СТАТ}} - T_0) + T_{\text{СП}} \frac{dT}{d\tau}}{\frac{dT}{d\tau}}, \quad (24)$$

де  $T_{\text{СП}}$  – динамічний параметр СП (постійна часу), сек;  $T_{\text{ДИН}}$ ,  $T_{\text{СТАТ}}$  – температури спрацювання СП (динамічна та статична), К;  $\tau_{\text{СПР}}$  – час спрацювання, сек;  $dT/d\tau$  – швидкість зміни температури, К/сек.

Результати теоретичних розрахунків параметрів роботи СП – динамічної температури та часу спрацювання СП порівняно з експериментальними даними отриманими для СПТМ-70 – динамічної температури, часу спрацювання, інерційності сповіщувача, швидкості зростання температури, показано табл.1, рис. 1.

**Таб. 1. Параметри спрацювання СП**

$(dT/d\tau)$ , °C/хв	0,2	5	10	20	30
$T_{\text{СТАТ ЕКСП}}$ , °C	66				
$T_{\text{ДИН ЕКСП}}$ , °C		68,2	71,1	75,1	76,8
$T_{\text{ДИН РОЗР}}$ , °C		67,6	69,7	75,1	78,3
Відносна погрішність $\overline{\Delta \times T_{\text{ДИН}}}$ , %		0,46	3,78	3,14	4,35
тєксперимент, с		437	236	124	90
трозрахунок, с		430	229	129	94
Відносна погрішність $\overline{\Delta \times \tau_{\text{СПР}}}$ , %		1,83	2,97	4,03	4,44
Тєксперимент, с	24				

а) б)

**Рис. 1. Параметри роботи теплового СП:**

а) динамічна температура спрацювання; б) час спрацювання

Таким чином отримано рівняння динаміки та проведено дослідження роботи теплового СП, в якому застосовано принцип залежності магнітних властивостей ЧЕ від температури. Форма рівнянь відповідає інерційній позиційній ланці першого порядку, записаній з постійними коефіцієнтами та відносними змінними. Рівняння динаміки урахують залежність намагніченості контактів ЧЕ від температури у межах (20 ÷ 80) 0C, з урахуванням типу та структури речовини контактів: намагніченість м'якого фериту Mn-Zn (11), намагніченість м'яких феритів на основі кобальту (14), намагніченість м'яких феритів, що відповідають умовам закону Блоху і тепловим властивостям (17), намагніченість ФН, які задовольняють вимогам рівнянь Ейлера-Маклорена (20).

Рівняння динаміки є зручними для дослідження параметрів роботи теплових СП, відносна погрішність складає до 5 %.

## 7. Обговорення результатів дослідження впливу матеріалу контактів на параметри спрацювання сповіщувача

Створено математичну модель теплового СП з залежністю магнітних властивостей від температури. Особливістю розробленої математичної моделі є урахування впливу матеріалу контактів ЧЕ на параметри спрацювання СП.

Характерною ознакою розробленої моделі СП є урахування властивостей контактної групи ЧЕ, які не досліджувалися раніше: контакти на основі м'яких марганець-цинкових феритів, м'яких феритів на основі кобальту, м'якого фериту з відповідністю умовам закону Блоху і теплових властивостей, феритні наночастки що задовольняють рівнянням Ейлера-Маклорена. При порівнянні розробленої моделі СП з відомими моделями сповіщувача з залежністю магнітної індукції від температури, представлена математична модель теплового СП ураховує структуру контактної групи ЧЕ. Так в м'якому марганець-цинковому фериті ураховуються: намагніченість насичення м'якого фериту  $M_{SAT}$ , зовнішнє магнітне поле  $H$ , постійна Больцмана  $k_B$ , поточна температура контактів  $T$ , маса контактів  $m$ , теплоємність матеріалу контактів  $C$ , площа контактів  $F$ . Для СП з контактами із м'якого фериту на основі кобальту – намагніченість при початковій температурі  $M_{S0}$ , постійна що ураховує структуру матеріалу  $C$ , число Авогадро  $N$ , енергетичні рівні ячійки фериту  $E_1$  та  $E_2$ , постійна Больцмана  $k_B$ , поточна температура контактів  $T$ , маса контактів  $m$ , теплоємність матеріалу контактів  $C$ , площа контактів  $F$ . Контакти з м'якого фериту що ураховують закон Блоха і температурні властивості – початкова намагніченість  $M_0$ , фактор (критерій) Блоха  $BL$ , атомний об'єм ФН  $V_0$ , діаметр ФН  $D$ , коефіцієнт Больцмана  $k_B$ , температурний коефіцієнт  $C_{NB}$ , поточна температура контактів  $T$ , маса контактів  $m$ , теплоємність матеріалу контактів  $C$ , площа контактів  $F$ . Контакти з феритних наночасток що задовольняють рівнянням Ейлера-Маклорена – функція Рімана  $\zeta$ , параметри структури решітки наночасток фериту  $J$ ,  $S$ ,  $N$ , постійна Больцмана  $k_B$ , поточна температура контактів  $T$ , маса контактів  $m$ , теплоємність матеріалу контактів  $C$ , площа контактів  $F$ .

Отримані рівняння динаміки СП ураховують характеристики матеріалів контактної групи ЧЕ та залежність їх намагніченості від температури і відповідають інерційній позиційній ланці першого порядку, записаній з постійними коефіцієнтами та відносними змінними. Рівняння дозволяють проводити дослідження параметрів роботи СП з залежністю магнітних властивостей від зміни температури оточуючого середовища. Значення відносної погрішності результатів теоретичних розрахунків параметрів роботи СП, відрізняється від значень отриманих в експериментах для СПТМ-70 на величину менше 5%.

Результати розрахунків підтверджують, що намагніченість контактів ЧЕ залежить від комплексного урахування структури речовини контактів і зміни магнітних характеристик контактів ЧЕ від зміни температури. Вказані фактори визначають вплив динамічних властивостей СП на параметри спрацювання.

В якості обмежень використання представлених моделей сповіщувача з залежністю магнітної індукції від температури є виключна можливість їх застосування тільки при визначених початковій намагніченості, рівня магнітного впливу постійного магніту ЧЕ та відомих параметрах структури контактної групи.

Також недоліком розробленої моделі виступає неможливість урахування гармонійної зміни величини магнітного впливу постійного магніту, що розташовано на герконі та зміну магнітного моменту контактної групи ЧЕ при коливанні температури навколишнього середовища в діапазоні понад 80 °С.

Подальший розвиток наведеного підходу з розробки математичної моделі СП є визначення параметрів намагніченості при початковій температурі, рівня магнітного поля постійного магніту та закону його зміни, визначення магнітного моменту контактів в межах температур, що перевищують прийнятий діапазон. Урахування вказаних параметрів знизить погрішність теоретичних розрахунків, але приведе до значного ускладнення математичної моделі СП за рахунок додавання нелінійних параметрів, лінеаризація яких є окремим складним завданням. В свою чергу, більш загальний підхід в моделюванні роботи СП створює можливість отримати універсальні результати, що спрощує дослідження їх роботи. Проте погрішності отриманих за такими моделями результатів не завжди дозволяють провести якісні дослідження параметрів роботи для СП з контактами ЧЕ різних типів.

Отже, отримані результати застосування розробленої моделі теплового сповіщувача повністю підтвердили справедливість обраної гіпотези, а визначені параметри роботи пожежного сповіщувача співпадають з даними, отриманими в експерименті. Мету дослідження, таким чином, слід вважати досягнутою, а результати виконаних досліджень можна застосувати для формування рекомендацій щодо вибору параметрів динаміки перспективних сповіщувачів. Це дозволяє покращити параметри роботи існуючих сповіщувачів: в першу чергу температури та часу спрацювання.

Таким чином, отримані результати моделювання роботи СП підтверджують правильність обраної гіпотези, а визначені параметри роботи СП співпадають з експериментальними даними. Отже, слід вважати мету роботи досягнутою. Результати проведених досліджень дозволяють надати рекомендації по вибору параметрів роботи СП, що покращить якість їх спрацювання: статичну та динамічну температури спрацювання, інерційність, час спрацювання.

## **8. Висновки**

1. Розроблено математичну модель сповіщувача з залежністю магнітних властивостей від температури. Контакти чутливого елемента в моделях мають структуру м'яких феритів на основах марганець-цинку і кобальту та феритних наночасток з урахуванням вимог закону Блоху і Ейлера-Маклорена. Теоретично визначено та експериментально підтверджено, що при дослідженні магнітних властивостей контактної групи на параметри спрацювання сповіщувача, разом з

показниками намагніченості контактів, індукції, магнітного поля постійного магніту і параметрів конвекційного теплообміну з середовищем, математична модель сповіщувача повинна урахувати структуру матеріалу контактів. Так модель намагніченості з м'якими марганець-цинковими феритовими контактами ураховує 7 факторів: намагніченість насичення м'якого фериту, зовнішнє магнітне поле, постійну Больцмана, поточну температуру контактів, масу матеріалу контактів, теплоємність матеріалу контактів, площу контактної групи. Для контактів м'якого фериту на основі кобальту ураховує 10 факторів: намагніченість при початковій температурі, постійну що ураховує структуру матеріалу, число Авогадро, два енергетичні рівні ячійки фериту, постійну Больцмана, поточну температуру контактів, масу контактів, теплоємність матеріалу контактів, площу контактів. Контакти з м'якого фериту по закону Блоха і температурними властивостями ураховує 10 факторів: намагніченість при початковій температурі, фактор Блоха, діаметр наночастки фериту, атомний об'єм феритової наночастки, постійну Больцмана, температурний коефіцієнт, поточну температуру контактів, масу контактів, теплоємність матеріалу контактів, площу контактів. Контакти з феритних наночасток що задовольняють рівнянням Ейлера-Маклорена ураховує 9 факторів: функцію Рімана, три параметри структури решітки наночасток фериту, постійну Больцмана, поточну температуру контактів, масу контактів, теплоємність матеріалу контактів, площу контактів.

2. Отримано рівняння динаміки сповіщувача та досліджено параметри його роботи. Рівняння ураховують тип, структуру речовини контактної групи, залежність магнітних властивостей від температури. Відхилення результатів теоретичних розрахунків від даних експерименту менше 5%. Рекомендацією для покращення параметрів роботи сповіщувача є доцільність застосування теплового радіатора та збільшення загальної площі контактної групи для поліпшення умов конвекційного теплообміну з навколишнім середовищем. Доречне урахування в моделі сповіщувача характеристик початкової намагніченості контактної групи, величини магнітного поля і моменту постійного магніту, розширення діапазону робочих температур, характеристик матеріалу контактів.

## 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. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85047843885&doi=10.29202%2fnvngu%2f2018-2%2f12&partnerID=40&md5=DOI:10.29202/nvngu/2018-2/12>
2. Lu H., Zhu Y., Hui J. G. Measurement and modeling of thermal effects on magnetic hysteresis of soft ferrites. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2007. Vol. 43 (11). P. 3953–3960. [DOI: 10.1109/TMAG.2007.904942](https://doi.org/10.1109/TMAG.2007.904942)
3. Кахняж, М. Л., Салах, Я. Л., Шевчик, Р. Ю., Беньковски, А. В., &

Коробийчук, И. В. Дослідження впливу температури на магнітні характеристики феритів з марганець-цинкового сплава. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2015. Vol. 6(5(78)). P. 17–21.

<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.55410>

4. Martinson K., Belyak V., Sakhno D., Chebanenko M., Panteleev I. Mn-Zn Ferrite Nanoparticles by Calcining Amorphous Products of Solution Combustion Synthesis: Preparation and Magnetic Behavior. International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. 2022. Vol. 31. P. 17-23. DOI:10.3103/S106138622201006X

5. Nairan, A.; Khan, M.; Khan, U.; Iqbal, M.; Riaz, S.; Naseem, S. Temperature-Dependent Magnetic Response of Antiferromagnetic Doping in Cobalt Ferrite Nanostructures. Nanomaterials. 2016. P. 73.

<https://doi.org/10.3390/nano6040073>

6. Thanh, T.D., Manh, D.H., Phuc, N.X. Deviation from Bloch's T<sup>3/2</sup> Law and Spin-Glass-Like Behavior in La<sub>0.7</sub>Ca<sub>0.3</sub>MnO<sub>3</sub> Nanoparticles. J Supercond Nov Magn 28. 2015. P. 1051–1054. <https://doi.org/10.1007/s10948-014-2869-5>

7. Samir Ullah, Firoz U., Momin A., Hakim M. Effect of V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> addition on the structural and magnetic properties of Ni–Co–Zn ferrites. Published by IOP Publishing Ltd. 2021. DOI:10.1088/2053-1591/abd865

8. Mahmoudi M. Temperature and frequency dependence of electromagnetic properties of sintering Li–Zn ferrites with nano SiO<sub>2</sub> additivet] / M. Mahmoudi, M. Kavanlouei // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. – Vol. 384. – P. 276–283. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304885315001948>

9. Jackiewicz D., Szewczyk R., Salach J. Modelling the magnetic characteristics and temperature influence on constructional steels. Solid State Phenomena. 2013. Vol. 199. P. 466–471. doi: [10.4028/www.scientific.net/ssp.199.466](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.199.466)

10. Cojocaru S. Magnon gas and deviation from the Bloch law in a nanoscale Heisenberg ferromagnet. Philosophical Magazine. 2011. P. 1-15. [https://www.researchgate.net/publication/233077658\\_Magnon\\_gas\\_and\\_deviation\\_from\\_the\\_Bloch\\_law\\_in\\_a\\_nanoscale\\_Heisenberg\\_ferromagnet](https://www.researchgate.net/publication/233077658_Magnon_gas_and_deviation_from_the_Bloch_law_in_a_nanoscale_Heisenberg_ferromagnet)

11. Дурєєв В. О., Христич В. В., Бондаренко С. М., Малярів М. В., Корнієнко Р. В. Математична модель магнітноконтактного теплового пожежного сповіщувача. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2023. № 1(37). С. 31-43. <http://pes.nuczu.edu.ua/images/arhiv/37/3.pdf> ISSN 2524-0226

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

*V. Durieiev, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department*  
*V. Khrystych, PhD, Associate Professor, Deputy head of the department*  
*S. Bondarenko, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department*  
*Oleksiy Antoshkin, Phd, Associate Professor*  
*M. Maliarov, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department*  
*National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

## **DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE MAGNETO-CONTACT THERMAL FIRE ALARM**

Mathematical models of a fire detector have been developed taking into account the dependence of the magnetization of the contacts of the sensitive element on the temperature and the parameters of the contact material. The obtained equations of the dynamics of the SP take into account the type and structure of the materials of the contact elements of the ЧЭ and the dependence of their magnetization on the temperature and correspond to the inertial positional link of the first order, written in relative variables with constant coefficients. As a result of studying the current literature, the characteristics of the material of the magnetic contacts have been taken into account in the models to determine its optimal dynamic parameters. The mathematical model of the detector is a system of equations consisting of the heat balance equation under conditions of non-stationary heat exchange with the assumption of uniform heating of the contacts of the sensitive element over the entire depth. The second is the equation of the relationship between the magnetization of contacts soldered in a reed switch and temperature. The obtained detector dynamics equations take into account the type and structure of the materials of the contact elements and the dependence of their magnetization on temperature and correspond to the inertial positional link of the first order. The variables of the equations are relative to the linearization point, with constant coefficients. The equations allow to study the detector operation parameters with the principle of the dependence of magnetic induction on temperature. The dynamics equations allow to study the dynamic parameters of the operation of thermal fire detectors, the relative error of the results does not exceed 5%. The obtained results of the simulation of the fire detector operation confirm the correctness of the chosen hypothesis, and the determined parameters of the fire detector operation coincide with the experimental data. The results of the conducted studies allow to provide recommendations on the selection of the detector operation parameters, which will improve the quality of their operation: static and dynamic operation temperatures, inertia, operation time.

**Key words:** fire detector, sensitive element, mathematical model, inertia, activation time, activation temperature

### **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.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85047843885&doi=10.29202%2fnvngu%2f2018-2%2f12&partnerID=40&md5=DOI:10.29202/nvngu/2018-2/12>
2. Lu H., Zhu Y., Hui J. G. (2007). Measurement and modeling of thermal effects on magnetic hysteresis of soft ferrites. *IEEE Transactions on Magnetics*. Vol. 43 (11). P. 3953–3960. doi: [10.1109/tmag.2007.904942](https://doi.org/10.1109/tmag.2007.904942)
3. Kachniarz M., Salach J, Szewczyk R., Bieńkowski A., Korobiichuk I. (2015). Investigation of temperature effect on magnetic characteristics of manganese-zinc ferrites. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 6/5 (78). P. 17–21. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.55410>
4. Martinson K., Belyak V., Sakhno D., Chebanenko M., Panteleev I. (2022). Mn-Zn Ferrite Nanoparticles by Calcining Amorphous Products of Solution Combustion Synthesis: Preparation and Magnetic Behavior. *International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis*. Vol.

31. P. 17-23. [DOI:10.3103/S106138622201006X](https://doi.org/10.3103/S106138622201006X)
5. Nairan, A.; Khan, M.; Khan, U.; Iqbal, M.; Riaz, S.; Naseem, S. (2016). Temperature-Dependent Magnetic Response of Antiferromagnetic Doping in Cobalt Ferrite Nanostructures. *Nanomaterials*. P. 73.  
<https://doi.org/10.3390/nano6040073>
6. Thanh, T.D., Manh, D.H., Phuc, N.X. (2015). Deviation from Bloch's T<sup>3/2</sup> Law and Spin-Glass-Like Behavior in La<sub>0.7</sub>Ca<sub>0.3</sub>MnO<sub>3</sub> Nanoparticles. *J Supercond Nov Magn* 28. P. 1051–1054. <https://doi.org/10.1007/s10948-014-2869-5>
7. Samir Ullah, Firoz U., Momin A., Hakim M. (2021). Effect of V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> addition on the structural and magnetic properties of Ni–Co–Zn ferrites. Published by IOP Publishing Ltd. [DOI:10.1088/2053-1591/abd865](https://doi.org/10.1088/2053-1591/abd865)
8. 4. Mahmoudi, M. (2015). Temperature and frequency dependence of electromagnetic properties of sintering Li–Zn ferrites with nano SiO<sub>2</sub> additivet] / M. Mahmoudi, M. Kavanlouei // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. Vol. 384. P. 276–283. doi: 10.1016/j.jmmm.2015.02.053
9. Jackiewicz, D., Szewczyk, R., Salach, J. (2013). Modelling the magnetic characteristics and temperature influence on constructional steels. *Solid State Phenomena*. Vol. 199. P. 466–471. doi: [10.4028/www.scientific.net/ssp.199.466](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.199.466)
10. Cojocaru S. (2011). Magnon gas and deviation from the Bloch law in a nanoscale Heisenberg ferromagnet. *Philosophical Magazine*. P. 1-15. [https://www.researchgate.net/publication/233077658\\_Magnon\\_gas\\_and\\_deviation\\_from\\_the\\_Bloch\\_law\\_in\\_a\\_nanoscale\\_Heisenberg\\_ferromagnet](https://www.researchgate.net/publication/233077658_Magnon_gas_and_deviation_from_the_Bloch_law_in_a_nanoscale_Heisenberg_ferromagnet)
11. Durieiev V. O., Khrystych V. V., Bondarenko S. M., Maliarov M. V., Korniienko R. V. (2023). Matematychna model mahnitnokontaktneho teplovoho pozhezhnogo spovishchuvacha. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii*. № 1(37). С. 31-43. <http://pes.nuczu.edu.ua/images/arhiv/37/3.pdf> ISSN 2524-0226
12. Zabara S. (2015). Modelyuvannya sistem u seredovishchi MATLAB. *Universitet Ukraïna*, 137 p. <https://www.yakaboo.ua/modeljuvannja-sistem-u-seredovishchi-matlab.html>

Дурєєв Вячеслав Олександрович  
Доцент кафедри  
Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій  
Національний університет цивільного захисту України  
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023  
**E-mail:** [asbit@nuczu.edu.ua](mailto:asbit@nuczu.edu.ua)  
Контактний тел.: 050-406-37-50  
Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 130  
Кількість статей у міжнародних базах даних – 1  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7981-6779>

Христич Валерій Володимирович  
Заступник начальника кафедри  
Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій  
Національний університет цивільного захисту України  
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023  
**E-mail:** [asbit@nuczu.edu.ua](mailto:asbit@nuczu.edu.ua)  
Контактний тел.: 093-8384916

Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 84  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5900-7042>

Бондаренко Сергій Миколайович  
Доцент кафедри автоматичних систем  
безпеки та інформаційних технологій  
Кандидат технічних наук, доцент  
Факультет пожежної безпеки  
Національний університет цивільного захисту України  
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023  
E-mail: [bondarenko@nuczu.edu.ua](mailto:bondarenko@nuczu.edu.ua)  
Контактний тел.: 066-415-50-67  
Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 50  
Кількість статей у міжнародних базах даних – 1  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4687-1763>

Антошкін Олексій Анатолійович  
Кандидат технічних наук, доцент  
Старший викладач  
Кафедра автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій  
Національний університет цивільного захисту України  
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023  
E-mail: [alex\\_fire06@ukr.net](mailto:alex_fire06@ukr.net)  
Контактний тел. : 0673094822  
Кількість статей в національних базах даних - 129  
Кількість статей в міжнародних базах даних – 5  
Індекс Хірша -1  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2481-2030>

Маляров Мурат Всеволодович  
Доцент кафедри автоматичних систем  
безпеки та інформаційних технологій  
Кандидат технічних наук, доцент  
Факультет пожежної безпеки  
Національний університет цивільного захисту України  
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023  
E-mail: [bondarenko@nuczu.edu.ua](mailto:bondarenko@nuczu.edu.ua)  
Контактний тел.: 050-406-37-50  
Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 80  
Кількість статей у міжнародних базах даних – 2  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4687-1763>

Viacheslav Durieiev  
Associate Professor of the Department  
PhD, Associate Professor  
Department of automated security systems and information technologies  
National University of Civil Defence of Ukraine  
Chernyshevskya str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023  
E-mail: [asbit@nuczu.edu.ua](mailto:asbit@nuczu.edu.ua)  
Contact tel.: 050-406-37-50  
The number of articles in national databases – 130



Valerii Khrystych  
Deputy head of the department  
PhD, Associate Professor  
Department of automatic security systems and information technologies  
National University of Civil Defense of Ukraine  
St. Chernyshevska, **94, Kharkiv, Ukraine, 61023**  
**E-mail:** [asbit@nuczu.edu.ua](mailto:asbit@nuczu.edu.ua)  
**Contact tel.:** 093-8384916  
The number of articles in national databases - 84  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5900-7042>

Serhij Bondarenko  
Department of automated security systems and information technologies  
safe and information technologies  
PhD, Associate Professor  
Faculty of fire safety  
National University of Civil Defence of Ukraine  
Chernyshevska str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023  
E-mail: [bondarenko@nuczu.edu.ua](mailto:bondarenko@nuczu.edu.ua)  
Contact tel.: 066-415-50-67  
The number of articles in the national database – 50  
The number of articles in international databases – 1  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4687-1763>

Oleksiy Antoshkin  
Phd, Associate Professor  
Senior assistant  
Department of automated security systems and information technologies  
National University of Civil Protection of Ukraine  
Chernishevska 94, Kharkiv, Ukraine, 61023  
E-mail: [alex\\_fire06@ukr.net](mailto:alex_fire06@ukr.net)  
Contact phone: 0673094822  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2481-2030>

Murat Maliarov  
Associate Professor of the Department  
PhD, Associate Professor  
Department of Automatic Security Systems and Information Technologies  
National University of Civil Defence of Ukraine  
Chernyshevska str., **94, Kharkiv, Ukraine, 61023**  
**E-mail:** [malyarov@nuczu.edu.ua](mailto:malyarov@nuczu.edu.ua)  
**Contact tel.:** 063- 539-90-26  
The number of articles in national databases – 80  
The number of articles in international databases – 2  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4052-7128>



**Рецензія на статтю**  
**«РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ**  
**МАГНІТНОКОНТАКТНОГО ТЕПЛОВОГО ПОЖЕЖНОГО**  
**СПОВІЩУВАЧА»**

В представленій статті наведені результати досліджень роботи теплових пожежних сповіщувачів (СП), що працюють за принципом залежності магнітної індукції від температури. Чутливим елементом (ЧЕ) сповіщувачів є герметичний контакт, магнітні властивості якого залежать від рівня температури середовища.

Матеріал контактів та його структура впливають на параметри спрацювання такого СП і визначаються динамічними параметрами складових ЧЕ в умовах зміни їх теплового стану. В свою чергу, залежність намагніченості контактів ЧЕ визначається їх складовою речовиною. Ураховуючи різноманіття речовин, що можуть бути застосовані в якості магнітних контактів ЧЕ, параметри спрацювання таких СП значно відрізняються один від одного. Паспорт теплових СП практично не містить технічні данні ЧЕ і не описує динамічні параметри роботи СП в умовах, коли навколишня температура змінюється. Відповідно, щоб покращити якість роботи системи протипожежного захисту, треба змоделювати спрацювання теплового СП в умовах зміни температури оточуючого середовища для типової структури матеріалу його контактів, що є дуже важливим для визначення параметрів спрацювання СП. Тому актуальним є проведення досліджень направлених на розробку сповіщувачів пожежних з покращеними динамічними параметрами.

Вважаю, що в статті представлені розроблені математичні моделі магнітноконтактних теплових пожежних сповіщувачів з урахуванням типу та структури матеріалу контактів чутливого елемента.

Новим науковим результатом є урахування в моделі пожежного сповіщувача характеристик матеріалу чутливого елемента, його типу та структури. Отримані з математичних моделей рівняння динаміки дозволяють проводити параметричні дослідження параметрів спрацювання сповіщувачів, виявляти та задавати рекомендуємі параметри спрацювання перспективних зразків засобів протипожежного захисту. Рівняння ураховують структуру матеріалу контактів чутливого елемента та залежність їх магнітних властивостей від зміни температури зовнішнього середовища. Відмінність розрахованих параметрів спрацювання сповіщувачів відрізняються від даних експерименту на величину, що не перевищує 5 %.

Початковими умовами для створення моделі сповіщувача є рівняння магнітних властивостей сповіщувача та конвективного теплопереносу, в умовах рівномірного прогрівання чутливого елемента. Ураховуються структура та тип матеріалу контактів. Теоретичне дослідження застосування математичної моделі магнітноконтактного теплового пожежного сповіщувача полягає в

отримані рівняння динаміки теплового пожежного сповіщувача з урахуванням сукупного впливу властивостей контактів чутливого елемента. Згідно проведених розрахунків, при відомій швидкості зростання температури інерційність магнітноконтактного теплового сповіщувача залежить від типу, матеріалу та конструктивного виконання чутливого елемента, за рахунок впливу на динамічну та статичну температури спрацювання. Визначені рівняння для параметричних досліджень залежності динамічних параметрів сповіщувачів від характеристик чутливих елементів.

Представлена стаття містить матеріали закінченого наукового дослідження в галузі розробки автоматизованих систем, які призначені для виявлення та ліквідації надзвичайних ситуацій, що пов'язані з горінням або викидом речовин, які становлять загрозу для повітряного, водяного або земельного середовища. Отримані результати що наведені в статті, дають підстави стверджувати щодо можливості їх втілення у реальне виробництво.

Науковою новизною дослідження є урахування структури та типу матеріалу контактів чутливого елемента в сукупності з залежністю його магнітних властивостей від температури. Це дає можливість визначення параметрів спрацювання та надання рекомендацій щодо оптимальних значень існуючих та перспективних зразків елементів систем протипожежного захисту, а саме системою пожежної сигналізації. Динамічні параметри пожежних сповіщувачів визначають ефективність роботи системи протипожежного захисту.

Отже, ліквідація надзвичайної ситуації, що пов'язана з пожежею, можна за менший час з використанням мінімально потрібної кількості вогнегасних речовини, за рахунок мінімізації часу виявлення надзвичайної ситуації. Динамічні параметри такої системи визначаються з урахуванням діапазону робочих температур, типу, матеріалу, геометричних параметрів та конструктивного оформлення сповіщувача.

Таким чином, виходячи із зазначеного вище дана стаття містить усі ознаки, які дозволяють рекомендувати її до опублікування у збірнику наукових праць «Проблеми надзвичайних ситуацій».

Рецензент  
доктор технічних наук, професор

Роман ШЕВЧЕНКО

Ліцензійний договір № \_\_\_\_\_  
на використання твору

м. Харків

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Дурєєв Вячеслав Олександрович, Христич Валерій Володимирович, Бондаренко Сергій  
Миколайович, Антошкін Олексій Анатолійович, Маляров Мурат Всеволодович  
(автора, співавторів)

(що надалі іменується **Ліцензіар (Ліцензіари)**) з одного боку та Національний університет цивільного захисту України в особі \_\_\_\_\_, що діє на підставі Статуту (надалі іменується **Ліцензіат**), уклали даний договір про таке:

### Визначення термінів

Терміни, що використовуються в цьому Договорі, вживаються у такому значенні:

Ліцензіар – автор (автори), якому (яким) належать виключні авторські права на Твір;

Ліцензіат – видавець;

Рукопис – наукова стаття, яка запропонована Ліцензіаром для опублікування у Виданні до моменту прийняття до публікації;

Видання – «**Проблеми надзвичайних ситуацій**» ISSN (print) 2524-0226, ISSN (on-line) 2524-0234;

Регламент – сукупність усіх робіт, передбачених видавничим технологічним процесом, включно з процедурами подвійного сліпого рецензування та редагування;

Твір – наукова стаття, яка публікується Ліцензіатом у Виданні;

Прийняття до публікації – успішно завершений процес розгляду Рукопису, що базується на висновку редакції щодо можливості опублікування за умови позитивної рекомендації рецензентів;

Авторське право – право на оригінальний результат у вигляді продукту творчої діяльності, існуючого в об'єктивній формі як повний Рукопис /Твір чи певної частини. Такий продукт є оригінальним, якщо він є результатом інтелектуальної творчості автора.

Невиключна ліцензія – ліцензія, яка не виключає можливості використання Ліцензіаром Твору та видачі іншим особам ліцензій на використання даного Твору.

CreativeCommonsAttribution (CC BY 4.0) – міжнародна публічна ліцензія. Детальніше про ліцензію тут – <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Інші терміни, що використовуються в Договорі, визначаються згідно з нормами чинного законодавства України.

### 1. Предмет договору

1.1. Ліцензіар надає Ліцензіату Рукопис, викладений українською мовою з робочою назвою «Розробка математичної моделі магнітноконтактного теплового пожежного сповіщувача» для опублікування у Виданні.

1.2. Ліцензіат виконує видавничий процес в повному обсязі відповідно до Регламенту для перетворення Рукопису в Твір, прийняття Твору до публікації та опублікування у Виданні.

1.3. Ліцензіар надає Ліцензіату безоплатно невиключну ліцензію CC BY 4.0 на використання Твору, викладеного англійською мовою з остаточною назвою «Simulation of the work of the magnetic contact thermal fire alarm», автори англійською мовою V. Durieiev, V. Khrystych, S. Bondarenko, O. Antoshkin, M. Maliarov

та Рукопису на умовах та на строк, визначених цим Договором.

### 2. Запевнення та Гарантії Ліцензіара та Ліцензіата

2.1. Ліцензіар запевняє, що він володіє виключними авторськими правами на переданий Ліцензіату Рукопис, названий в п. 1. 1, та не порушував авторських прав інших осіб, переданий Ліцензіату Рукопис не містить плагіату, незаконного використання інформації, в тому числі у вигляді перекладу інформації без дозволу її автора.

2.2. Ліцензіар запевняє, що:

- він є автором (співавтором) Рукопису /Твору;

- авторські права на Рукопис та Твір не передавались раніше третім особам;

- Рукопис та Твір не були раніше опубліковані у будь-якому іншому виданні до публікації його Ліцензіатом;

- він не порушив права інтелектуальної власності інших осіб. Якщо в Рукопису/Творі наведені матеріали інших осіб, за виключенням випадків цитування в обсязі, виправданому науковим, інформаційним або критичним характером Рукопису/Твору, використання таких матеріалів здійснюється Ліцензіаром з

дотриманням норм законодавства;

- він отримав усі необхідні дозволи на використання результатів, фактів та інших перейнятих матеріалів, правовласником яких є не він;

- Рукопис/Твір не містить відомості, заборонені до відкритої публікації згідно чинного законодавства України та його друк і/або розповсюдження Ліцензіатом не призведуть до розголошення секретної (конфіденційної) інформації (включаючи державну, службову таємницю).

2.3. Ліцензіар гарантує, що:

- авторські права на Рукопис та Твір не будуть передані в майбутньому третім особам;

- Рукопис та Твір не будуть опубліковані у будь-якому іншому виданні до публікації його Ліцензіатом;

2.4. Ліцензіат гарантує, що в разі відмови в опублікуванні Рукопис не буде переданий іншим особам та видаляться, а зміст його не використовується Ліцензіатом в будь-який спосіб.

### **3. Майнові права, що передаються Ліцензіату**

3.1. Ліцензіар надає Ліцензіату на весь строк дій виключних авторських прав на Твір наступні права:

3.1.1. право на відтворення Твору: опублікування у Виданні англійською мовою, оприлюднення, дублювання, тиражування або інше розмноження Твору без обмеження тиражу примірників. При цьому кожен екземпляр Твору повинен містити ім'я Ліцензіара;

3.1.2. право на поширення Твору будь-яким способом;

3.1.3. право на включення до складеного Твору;

3.1.4. право на доведення до загального відома, у т.ч. розміщення Твору повністю або частково в мережі Інтернет на веб-сторінці збірника та інших інформаційних ресурсах;

3.1.5. право на розміщення електронного варіанту Рукопису мовою оригіналу на веб-сторінці збірника;

3.1.6. право переробляти, адаптувати або іншим чином змінювати Твір без порушення суті змісту;

3.1.7. право перекладати Твір у випадку, коли Твір викладений мовою іншою, ніж мова, якою передбачена публікація у Виданні.

3.1.8. право на використання метаданих (назва, ім'я автора (правовласника), анотації, бібліографічні матеріали, e-mail, робоча адреса тощо) Твору шляхом розповсюдження і доведення до загального відома, обробки та систематизації, а також включення в різні бази даних та інформаційні системи;

3.1.9. Ліцензіар надає Ліцензіату згоду на передачу, зберігання та обробку його персональних даних без обмеження терміну з метою включення їх до бази даних відповідно до Закону України No. 2297-VI "Про захист персональних даних" від 01.06.2010:

- прізвище, ім'я, по батькові;

- відомості про наукову кваліфікацію (науковий ступінь, вчене звання);

- відомості про місце роботи та посаду;

- контактні дані авторів;

- відомості про наявність друкованих творів у загальнодержавних та міжнародних базах даних наукової літератури з метою їх подальшої обробки для здійснення пошукових операцій у цих базах даних.

Персональні дані і метадані статті надаються для їх зберігання і обробки в різноманітних базах даних і інформаційних системах, включення їх в аналітичні і статистичні звітності, створення обґрунтованих взаємозв'язків об'єктів творів науки, літератури і мистецтва з персональними даними і т.п. на території, яка не обмежена. Ліцензіат має право передати зазначені дані для обробки та зберігання третім особам за умови повідомлення про такий факт з наданням відомостей про третю особу (найменування та адреса) Ліцензіару. Відкликання згоди на зберігання та обробку персональних даних проводиться Ліцензіаром шляхом направлення відповідного письмового повідомлення Ліцензіату.

3.1.10. Якщо цього вимагають обставини, відповідно до чинного законодавства, з метою захисту прав та інтересів користувачів Видання, або відповідно до юридичних запитів державних органів або відповідно до політики конфіденційності та авторських прав, Ліцензіат має право розкривати будь-яку інформацію, яка розумно необхідна для забезпечення законності і захисту прав та інтересів залучених сторін.

3.2. Ліцензіар передає права Ліцензіату за цим Договором безоплатно на основі невиключної ліцензії CC BY 4.0 з дати прийняття Твору до публікації.

### **4. Територія використання**

4.1. Територія, на якій допускається використання прав на Твір, не обмежена.

### **5. Строк, на який надаються права**

5.1. Договір є чинним з дати його підписання та укладається на строк 10 років, але не більше терміну чинності виключного майнового права на Твір.

5.2. Строк дії Договору може бути продовжений згідно чинного законодавства України.

5.3. У випадку, коли Твір не прийнято до публікації або Ліцензіар відкликав рукопис, даний договір втрачає силу.

## 6. Відповідальність сторін договору

6.1. Ліцензіат зобов'язується дотримувати передбачені чинним законодавством авторські права Ліцензіара, а також приймати всі можливі заходи для попередження порушення авторських прав третіми особами.

6.2. Ліцензіат має право встановлювати умови прийому і опублікування Твору в збірнику. Редакції Видання належить виняткове право відбору або відхилення Рукопису. Редакція в листування з питань відхилення Рукопису не вступає, дані рецензентів не розголошуються.

6.3. В разі виявлення на етапі роботи з Рукописом факту порушення п. 2.1 цього Договору з боку Ліцензіара редакція Видання відхиляє Рукопис та може запровадити штрафні санкції в рамках завданих Ліцензіату збитків та компенсації втраченої економічної вигоди.

6.4. В разі виявлення після опублікування Твору у Виданні факту порушення п. 2.1 цього Договору з боку Ліцензіара, незалежно від того, хто виявив цей факт, та в разі пред'явлення претензії стосовно порушення авторських прав з боку третьої сторони, відповідальність несе Ліцензіар. Ліцензіат може запровадити штрафні санкції в рамках завданих Ліцензіату матеріальних та моральних збитків та компенсації втраченої економічної вигоди.

6.5. Ліцензіат не бере на себе будь-яку відповідальність за будь-які незаконні, несправедливі або шахрайські дії, вчинені Ліцензіаром в рамках цього Договору, наслідком яких є порушення авторських прав та прав інтелектуальної власності інших осіб.

6.6. Сторона, яка неналежним чином виконала або не виконала свої обов'язки за цим Договором, зобов'язана відшкодувати збитки, завдані іншій Стороні, включаючи упущену вигоду.

6.7. У всьому, що не передбачено цим Договором, Ліцензіар та Ліцензіат керуються нормами чинного законодавства України.

6.8. Цей Договір складений в двох примірниках, що мають однаковий зміст і рівну юридичну силу, по одному для кожної із Сторін.

## 7. Інші умови

7.1. Для організації оперативної взаємодії в рамках цього Договору сторона «Ліцензіари» повинна призначити зі свого числа представника по цьому Договору.

Така особа є \_\_\_\_\_ конт.тел. \_\_\_\_\_ е-mail \_\_\_\_\_

## 8. Реквізити і підписи сторін

**Ліцензіат**  
**Національний університет цивільного захисту України**  
61023, м. Харків, вул.Чернишевська, 94  
IBAN UA278201720313281003201007078  
ЄДРПОУ 08571363

**Ліцензіар (Ліцензіари)**  
\_\_\_\_\_  
( Дурєєв Вячеслав Олександрович )  
\_\_\_\_\_  
( Христич Валерій Володимирович )  
\_\_\_\_\_  
( Бондаренко Сергій Миколайович )  
\_\_\_\_\_  
( Антошкін Олексій Анатолійович )  
\_\_\_\_\_  
( Маляров Мурат Всеволодович )  
( ПІБ автора, співавтора )

\_\_\_\_\_  
(м.п.)

(Заповнюється та підписується всіма співавторами Твору)  
(м.п.)\*

\*Печатка відділу кадрів чи факультету, що засвідчує підписи Ліцензіарів

