

Національний університет цивільного захисту України
Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Кальченко Ярослав Юрійович

УДК 614.8

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕПЛОВИХ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЇХ ВИПРОБУВАНЬ

261 – пожежна безпека

26 – цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Я. Ю. Кальченко

Науковий керівник Абрамов Ю. О., доктор технічних наук, професор

Харків – 2020

АНОТАЦІЯ

Кальченко Я.Ю. Підвищення ефективності системи експлуатації теплових пожежних сповіщувачів шляхом удосконалення методів та засобів їх випробувань. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 – пожежна безпека. Національний університет цивільного захисту України, Харків, 2020 р.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної наукової задачі – підвищення ефективності системи експлуатації теплових пожежних сповіщувачів. Основна увага приділена методам та засобам випробувань теплових пожежних сповіщувачів, що основані на використанні його динамічних властивостей.

Система експлуатації теплових пожежних сповіщувачів є комплексом заходів, направлених на підтримання їх ефективного функціонування, одним з яких є їх випробування. Проведено аналіз методів випробувань теплових пожежних сповіщувачів та визначено, що їх основними недоліками є значний час проведення випробувань, неможливість їх здійснення у автоматичному режимі та те, що при проведенні об'єктових випробувань не визначаються динамічні характеристики їх чутливих елементів, а результат їх випробувань визначається за допустовим критерієм «спрацював-не спрацював», що обумовлює низьку ефективність таких випробувань. Подальші дослідження у роботі направлені на усунення цих недоліків.

Розроблено узагальнену математичну модель теплового пожежного сповіщувача (чутливий елемент якого може бути представлений у вигляді пластинки, циліндру або шару), що описує теплові процеси в ньому при створенні на нього стаціонарного теплового впливу. Визначено, що час спрацювання теплових пожежних сповіщувачів залежить від величини його постійної часу, яка в свою чергу, залежить від характеристик чутливого елемента, середовища та умов проведення випробувань. У зв'язку з цим,

проведено обчислювальний експеримент та побудована регресійна модель для постійної часу теплового пожежного сповіщувача. За цією моделлю можна оцінити вагу впливу характерного розміру чутливого елемента R , швидкості руху теплового потоку V та діаметру труби $d_{тр}$, по якій він рухається, на величину постійної часу теплового пожежного сповіщувача.

Визначено, що величина постійної часу в більшій мірі буде залежати від характерного розміру чутливого елемента, причому прямо пропорційно. За умов, що $d_{тр} = 0,3$ м, а $V = 0,8$ м/с постійна часу при зростанні характерного розміру чутливого елемента R від 0,1 мм до 1 мм зростає на 0,98 с. Від швидкості теплового потоку та діаметру труби постійна часу чутливого елемента теплового пожежного сповіщувача залежить обернено пропорційно, але не так вагомо, як від характерного розміру. При збільшенні $d_{тр}$ з 0,1 м до 0,3 м величина постійної часу зменшиться лише на 0,35 с, а при збільшенні V з 0,6 м/с до 1,0 м/с зменшиться лише на 0,31 с.

Сплановано експеримент та проведені експериментальні дослідження по визначенню параметрів формування теплового потоку, сформованого у конструкції теплового пожежного сповіщувача. Для проведення експерименту сконструйовано макет у вигляді екрана (25x25x65) мм, в якому встановлено вентилятор DC BRUSHLESS FUN та нагрівальний елемент, що виконаний з ніхромової проволочки довжиною 293 мм та діаметром 0,3 мм і закріпленої на текстолітові пластини (30x10x2) мм. Побудовані регресійні моделі залежностей швидкості теплового потоку від електричної напруги, поданої на вентилятор, відстані до нагрівального елемента та температури теплового потоку від електричної напруги поданої на нагрівальний елемент, та відстані до чутливого елемента. Було визначено, що для створення теплового потоку з температурою 54 °С, яка є мінімальною температурою спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів класу А1, на нагрівальний елемент необхідно подати електричну напругу 23,4 В, а відстань від нього до чутливого елемента повинна становити 3,4 мм.

Розроблений метод визначення перехідної функції теплового пожежного сповіщувача при впливі на нього тест-сигналом у вигляді лінійно-зростаючої функції. Побудовані графічні залежності для похибки, що виникає при визначенні перехідної функції теплового пожежного сповіщувача з постійною часу $\tau=20$ с від інтервалу дискретності τ_0 та показано, що для такого сповіщувача він повинен бути $\tau_0 \leq 1,05$ с.

Розроблені методи визначення амплітудно-частотної та фазово-частотної характеристик теплових пожежних сповіщувачів на основі інформації про їх перехідну функцію. Побудовано залежності величини похибки при визначенні частотних характеристик теплового пожежного сповіщувача від постійної часу приладу τ_1 , що формує тепловий вплив, та інтервалу дискретності τ_0 . Показано, що при визначенні амплітудно-частотної характеристики теплового пожежного сповіщувача з постійною часу $\tau=5$ с доцільно обрати інтервал дискретності $\tau_0=0,225$ с та постійну часу приладу, що формує тест-вплив, $\tau_1=0,1$ с для сповіщувача з постійною часу $\tau=10$ с – інтервал дискретності $\tau_0=0,26$ с та постійну часу приладу, що формує тест-вплив, $\tau_1=0,1$ с, а для сповіщувача з постійною часу $\tau=20$ с – інтервал дискретності $\tau_0=0,68$ с. При визначенні фазово-частотної характеристики цим методом доцільно обрати інтервал дискретності $\tau_0=2$ с та постійну часу приладу, що формує тест-вплив $\tau_1=0,073$ с. Такий метод визначення частотних характеристик дозволяє зменшити час їх визначення приблизно у 50-60 разів, у порівнянні з класичним методом.

Розроблені методи визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів при впливі на них тест-впливом у вигляді температури, що змінюється за квадратичним та лінійним законами. Отримано математичне описання реакції терморезистивних чутливих елементів теплових пожежних сповіщувачів на теплову дію постійного та синусоїдального електричного струму, а також вирази для їх постійних часу.

Розроблено метод випробувань теплових пожежних сповіщувачів, що полягає у визначенні його перехідної функції та порівнянні її з перехідною функцією, яка була визначена у лабораторних умовах на заводі виробнику, у моменти часу, що визначаються за теоремою Котельникова.

Показано, що використання цього методу дозволить зменшити час проведення випробувань теплових пожежних сповіщувачів у 4 рази, порівняно з випробуванням тестовим осередком пожежі TF-5, та у 16 разів, порівняно з випробуваннями у тепловому каналі.

Розроблені методи випробувань теплових пожежних сповіщувачів, що полягають у визначенні його частних динамічних характеристик на основі використання інформації про його загальні частотні характеристики. Перший метод передбачає визначення постійної часу сповіщувача на основі використання інформації про його амплітудно-частотну характеристику. Реалізація цього методу передбачає вимірювання амплітуди вихідного сигналу чутливого елемента лише на двох частотах, що значно скорочує час випробування і зменшує час його проведення у 8 разів у порівнянні з випробуваннями у тепловому каналі.

Другий метод випробувань полягає у визначенні постійної часу теплового пожежного сповіщувача на основі використання інформації про його фазово-частотну характеристику, що показано на прикладі сповіщувачів з терморезистивним чутливим елементом, однією з особливостей яких є те, що згідно з законом Джоуля-Ленца тепловий вплив на їх ЧЕ можна створити пропусканням через нього електричного струму. Показано, що час проведення випробувань таким методом дорівнює часу перехідного процесу, що для сповіщувачів класу А1 дорівнює $(60 \div 80)$ с.

На основі математичної моделі теплового пожежного сповіщувача з узагальненим чутливим елементом розроблений метод випробувань теплових пожежних сповіщувачів, який полягає у створенні на нього зовнішнього теплового потоку, визначення його постійної часу та порівняння її з нормативною величиною. Такий метод є універсальний і може бути

використаний як для проведення стаціонарних, так і для об'єктових випробувань теплових пожежних сповіщувачів з будь-яким чутливим елементом. Використання цього методу випробувань дозволяє зменшити час їх проведення у 1,8 разів у порівнянні з існуючим методом об'єктових випробувань, а з урахуванням додаткового часу, який необхідний для проведення випробувань і складається з підготовки приладу до роботи та переміщення оператора для проведення випробувань сповіщувачів у різних приміщеннях та на різних поверхах, у 3,3 рази.

На прикладі теплових пожежних сповіщувачів з терморезистивним елементом розроблений метод випробувань теплових пожежних сповіщувачів, що оснований на вимірюванні параметрів вихідних сигналів в умовах теплової дії на їх чутливі елементи електричного струму у вигляді косинусоїди, що дозволяє проводити випробування сповіщувачів у автоматичному режимі безпосередньо на об'єкті, що охороняється.

Розроблені пристрої для випробувань теплових пожежних сповіщувачів, що представлені у вигляді структурних схем, які дозволяють здійснювати випробування сповіщувачів у автоматичному режимі безпосередньо на об'єкті, що зменшує час їх проведення та виключає можливість появи суб'єктивних похибок. Розроблені рекомендації щодо проведення випробувань теплових пожежних сповіщувачів.

Визначено, що періодичність проведення випробувань теплових пожежних сповіщувачів, яка установлена діючим нормативним документом, ніяк не обґрунтована. У зв'язку з цим, була розрахована рекомендована періодичність проведення випробувань теплових пожежних сповіщувачів, яка складає 1,44 роки.

Таким чином, була вирішена актуальна наукова задача підвищення ефективності системи експлуатації теплових пожежних сповіщувачів.

Ключові слова: тепловий пожежний сповіщувач, перехідна функція, частотні характеристики, методи випробування, математична модель, система експлуатації, постійна часу, час спрацьовування.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. Кальченко Я. Ю., Абрамов Ю. А. Математичні моделі теплових пожежних сповіщувачів // Проблемы пожарной безопасности. 2018. Вып. 43. С. 58-63.

2. Абрамов Ю. А., Кальченко Я. Ю. Визначення параметрів формування теплового потоку при проведенні об'єктових випробувань теплових пожежних сповіщувачів // Проблемы пожарной безопасности. 2017. Вып. 41. С. 3-9.

3. Кальченко Я. Ю., Абрамов Ю. А. Випробування теплових пожежних сповіщувачів // Проблемы пожарной безопасности. 2019. Вып. 45. С. 60-64.

4. Кальченко Я. Ю., Абрамов Ю. А. Ідентифікація параметрів при визначенні динамічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів // Проблемы пожарной безопасности. 2017. Вып. 42. С. 41-51.

5. Кальченко Я. Ю., Абрамов Ю. О. Алгоритми контролю технічного стану датчиків первинної інформації системи ослаблення наслідків надзвичайних ситуацій // Проблеми надзвичайних ситуацій. 2018. Вип. 27. С. 39-46.

6. Кальченко Я. Ю., Абрамов Ю. О. Способи контролю технічного стану теплових пожежних сповіщувачів // Проблемы пожарной безопасности. 2018. Вип. 44. С. 44-48.

7. Кальченко Я. Ю., Абрамов Ю. О. Способи визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів // Проблемы пожарной безопасности. 2019. Вип. 46. С. 65-70.

Статті у наукових фахових виданнях України:

8. Абрамов Ю. А., Кальченко Я. Ю. Математическое обеспечение тестирования тепловых пожарных извещателей // Проблемы пожарной безопасности. 2015. Вып. 40. С. 5-11.

9. Абрамов Ю. А., Кальченко Я. Ю. Математическое обеспечение автономного метода об'єктовых испытаний тепловых пожарных извещателей // Проблемы пожарной безопасности. 2015. Вып. 38. С. 3-8.

10. Kalchenko Y. Y., Abramov Y. A. Models of primary information sensors of emergency effects mitigation systems // Проблеми надзвичайних ситуацій. 2015. Вип. 22. С. 65-69.

11. Abramov Y. A., Kalchenko Y.Y. Mathematical models for object tests of thermal fire detectors // Проблемы пожарной безопасности. 2016. Вып. 39. С. 3-8.

12. Кальченко Я. Ю., Абрамов Ю. А. Идентификация динамического параметра пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным // Проблемы пожарной безопасности. 2015. Вып. 37. С. 71-74.

13. Абрамов Ю. А., Кальченко Я. Ю. Выбор метода определения периода проведения регламентных работ датчиков систем ослабления последствий чрезвычайных ситуаций // Проблеми надзвичайних ситуацій. 2015. Вип. 21. С. 3-6.

Стаття у науковому періодичному виданні інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію:

14. Абрамов Ю. А., Кальченко Я. Ю. Выбор периода дискретизации при определении динамических характеристик тепловых пожарных извещателей // Вестник университета гражданской защиты Беларуси. 2019. Т.3. № 1. URL: <https://journals.ucp.by/index.php/jcp/article/view/168>.

Стаття у науковому журналі країни Євросоюзу, що входить до бази даних Scopus:

15. Abramov Yu., Kalchenko Y., Liashevskaya O. Determination of dynamic characteristics of heat fire detectors // Eureka: Physics and Engineering. 2019. №3. URL: <http://eu-jr.eu/engineering/article/view/898>.

Патенти:

16. Спосіб випробувань теплових пожежних сповіщувачів: пат 125948 Україна. № у 201800548; заявл. 19.01.2018; опубл. 25.05.2018, Бюл. № 10. 4 с.

17. Спосіб визначення динамічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів: пат. №111447 Україна. № у 201604945; заявл. 04.05.2016; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21. 4 с.

18. Спосіб визначення динамічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів: пат. №118847 Україна. № у 201702866; заявл. 27.03.2017; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 16. 6 с.

19. Спосіб визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів: пат. №110086 Україна. № а 201413822; заявл. 23.12.2014; опубл. 10.11.2017, Бюл. № 21. 3 с.

20. Спосіб визначення постійної часу теплових пожежних сповіщувачів: пат. №116932 Україна. № а 201607780; заявл. 14.07.2016; опубл. 25.05.2018, Бюл. № 10. 3 с.

21. Спосіб визначення постійної часу теплового пожежного сповіщувача з терморезистивним чутливим елементом: пат. №126609 Україна. № у 201801076; заявл. 05.02.2018; опубл. 25.06.2018, Бюл. № 12. 2 с.

22. Спосіб випробувань теплових пожежних сповіщувачів: пат. 114947 Україна. № у 201610468; заявл. 17.10.2016 ; опубл. 27.03.2017, Бюл. № 16. 2 с.

23. Спосіб тестування теплових пожежних сповіщувачів: пат. 109863 Україна. № u 201602817; заявл. 21.03.2016 ; опубл. 12.09.2016, Бюл. № 17. 3 с.

24. Спосіб контролю технічного стану теплових пожежних сповіщувачів: пат. 126312 Україна. № u 201801080; заявл. 05.02.2018 ; опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11.

25. Спосіб контролю теплових пожежних сповіщувачів: пат. 128949 Україна. № u 201805107; заявл. 08.05.2018; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19.

26. Спосіб тестування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом: пат. 113824 Україна. № u 201609584; заявл. 16.09.2016; опубл. 10.02.2017, Бюл. № 3.

27. Спосіб контролю технічного стану теплових пожежних сповіщувачів пат. 114979 Україна. № u 201610794; заявл. 27.10.2016; опубл. 27.03.2017, Бюл. № 6.

28. Спосіб визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом: пат. 110590 Україна. № a 201501322; заявл. 10.07.2015; опубл. 12.01.2016, Бюл. №1.

29. Спосіб визначення часу спрацьовування теплових пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом: пат. 115933 Україна. № a 201604947; заявл. 26.12.2016; опубл. 10.01.2018, Бюл. №1.

30. Тепловий пожежний сповіщувач: пат. 111924 Україна. № u201505720; заявл. 10.06.2015; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12.

31. Пристрій для реєстрації пожежі: пат. 109671 Україна. № u201603129; заявл. 28.03.2016; опубл. 25.08.2016, Бюл. № 16. 5 с.

32. Пристрій для виявлення пожежі: пат. 119158 Україна. № u201703726; заявл. 18.04.2017; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 17.

33. Пристрій для виявлення пожежі: пат. 114948 Україна. – № u201610470; заявл. 17.10.2016 ; опубл. 27.03.2017, Бюл. № 6.

34. Пристрій для виявлення пожежі: пат. 120533 Україна. № u201704007; заявл. 24.04.2017; опубл. 10.11.2017, Бюл. №21.

35. Тепловий пожежний сповіщувач: пат. 110189 Україна. № u201503033; заявл. 01.04.2015; опубл. 25.11.2015, Бюл. № 22.

Тези доповідей, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

36. Абрамов Ю. О., Кальченко Я. Ю. Аналіз системи експлуатації теплових пожежних сповіщувачів // Матеріали VIII Міжнародної НПК «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій». Черкаси, 2017. С. 107-108.

37. Абрамов Ю. А., Кальченко Я. Ю. Математическая модель воздушного потока при тестировании тепловых пожарных извещателей // Материалы НПК «Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы». Кокшетау, 2017. С.4-5.

38. Абрамов Ю. О., Кальченко Я. Ю. Математичне забезпечення об'єктових випробувань теплових пожежних сповіщувачів // Матеріали 19 Всеукраїнської НПК «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку». Київ, 2017. С. 13.

39. Кальченко Я. Ю., Абрамов Ю. О. Визначення динамічних характеристик теплових пожежних сповіщувачів у частотній області // Тези доповідей Всеукраїнської НПК «Пожежна безпека: проблеми та перспективи». Харків, 2018. С. 210-211.

SUMMARY

Kalchenko Y.Y. Improvement the operation system of heat detectors by organization and technical implementation of their tests.

Thesis for a PhD in speciality 261 «Fire Safety». National University of Civil Defence of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, 2020.

Dissertation work is devoted to solving the current scientific problem - improvement of the system of operation of heat detectors. The focus is on methods and means of testing heat detectors based on the use of its dynamic properties.

The system of operation of heat detectors is a set of measures aimed at maintaining their effective functioning, one of which is their testing. Analysis of test methods of heat detectors was carried out and it was determined that their main disadvantages are considerable time for carrying out tests, impossibility of their implementation in automatic mode and that during carrying out of "design tests dynamic characteristics of their sensitive elements are not determined, and the result of their tests is determined by additional criterion "worked or did not work", which causes low efficiency of such tests. Further research in the work aims to address these shortcomings.

A generalized mathematical model of a heat detector (the sensitive element of which can be presented in the form of a plate, cylinder or ball) has been developed, describing thermal processes in it when creating a stationary thermal influence on it. It has been determined that the response time of heat detectors depends on the value of its time constant, which in turn depends on the characteristics of the sensor, the medium and the test conditions. In this regard, a computational experiment was conducted and a regression model for the time constant of the heat detector was constructed. From this model, it is possible to estimate the weight of the effect of the characteristic size of the sensor R , the velocity of the heat flow V and the diameter of the pipe d_{tp} along which it travels by the value of the time constant of the heat detector.

It is determined that the magnitude of the time constant will depend to a greater extent on the characteristic size of the sensor element, directly proportional. Under conditions that $d_{tp} = 0,3$ m, and $V = 0,8$ m/s the time constant as the characteristic size of the sensor R from 0,1 mm to 1 mm will increase by 0.98 s. The rate of heat flow and the diameter of the pipe, the time constant of the heat detector sensor, is inversely proportional, but not as heavy as the characteristic size. At increase d_{tp} from 0.1 m to 0.3 m the value of time constant will decrease only by 0.35 s, and at increase V from 0.6 m/s to 1.0 m/s it will decrease only by 0.31 s.

The experiment was planned and experimental studies were carried out to determine the parameters of heat flow formation formed in the structure of the heat detector. For the experiment, a screen-like layout (25x25x65) mm is constructed, in which a «DC BRUSHLESS FUN» fan and a heating element are installed, which is made of nichromic wire with a length of 293 mm and a diameter of 0.3 mm and fixed on textilite plates (30x10x2) mm. Regression models of heat flow rate dependencies from electric voltage supplied to fan, distance to heating element and temperature of heat flow from electric voltage supplied to heating element, and distance to sensitive element are constructed. It has been determined that in order to produce a heat flux of 54 °C, which is the minimum operating temperature of Class A1 heat detectors, 23.4 V must be applied to the heating element and the distance from it to the sensor must be 3.4 mm.

The method of definition of the transitional thermal fire announcer of function at impact on it the test by a signal in the form of linearly growing function is developed. Graphic dependences for an error are constructed that arises when determining the transitional heat detector of function from time constant $\tau = 20$ s from an interval of discretization τ_0 and it is shown that for such announcer it has to be $\tau_0 \leq 1,05$ s.

Methods of determining amplitude-frequency and phase-frequency characteristics of thermal fire detectors based on information on their transient

function have been developed. The dependence of the error value at determined frequency characteristics of the thermal fire detector on the time constant of the device τ_1 that generates the thermal impact and the interval of discreteness τ_0 are built. It is shown that when determining the amplitude-frequency characteristic of a thermal fire detector with a time constant $\tau=5$ s, it is advisable to select a discreteness interval of $\tau_0 = 0,225$ s and a time constant of the device, which forms a thermal impact $\tau_1=0,1$ s; for detector with time constant $\tau=10$ s - interval of discreteness $\tau_0 = 0,26$ s and time constant of device, which generates thermal impact $\tau_1=0,1$ s, and for detector with time constant $\tau=20$ s - interval of discreteness $\tau_0 = 0,68$ s. When determining phase-frequency characteristic by this method it is advisable to select interval of discreteness 2 s and time constant of the device, which forms thermal impact, $\tau_1=0,073$ s. Such method of determining frequency characteristics allows to reduce time of their determination by about 50-60 times, compared to the classical method.

Methods have been developed to determine the time constant of heat detectors when exposed to a test in the form of temperature, which varies according to quadratic and linear laws. Mathematical description of reaction of thermoresistive sensitive elements of heat detectors to thermal action of direct and sinusoidal electric current is obtained, as well as expressions for their constant time.

A method of testing heat detectors has been developed, which consists in determining its transient function and comparing it with the transient function, which was determined in laboratory conditions at the manufacturer 's plant, at times determined by Kotelnikov 's theorem.

It has been shown that the use of this method will reduce the test time of heat detectors by 4 times, compared to the test site of fire TF 5, and by 16 times compared to the tests in the heat channel.

Methods of testing of heat detectors have been developed, consisting in determination of its frequency dynamic characteristics based on use of information

on its general frequency characteristics. The first method involves determining the time constant of the detector based on the use of information on its amplitude-frequency characteristic. The implementation of this method involves measuring the amplitude of the output signal of the sensitive element at only two frequencies, which significantly reduces the test time and reduces its time by 8 times compared to the tests in the thermal channel.

The second test method is to determine the time constant of a heat detector based on the phase-frequency response information, as illustrated by detectors with a thermoresistive sensitive element, one of the features of which is that, according to Joule-Lenz law, a thermal effect on their sensitive element can be created by passing an electric current therethrough. It is shown that the time of testing by this method is equal to the time of transient process, that for detectors of class A1 is equal to (60-80) s.

Based on a mathematical model of a heat detector with a generalized sensitive element, a method of testing thermal fire detectors has been developed, which consists in creating an external heat flux on it, determining its time constant and comparing it with a standard value. Such method is universal and can be used for both stationary and object tests of heat detectors with any sensitive element. The use of this test method allows to reduce the time of their performance by 1.8 times compared to the existing object testing method, and taking into account the additional time required for testing and consists of preparation of the instrument for operation and movement of the operator for testing of detectors in different premises and on different floors by 3.3 times.

On the example of heat detectors with a thermoresistant sensitive element, a method of testing thermal fire detectors has been developed, which is based on measurement of parameters of output signals under conditions of thermal influence on their sensitive elements of electric current in the form of cosine-like, which allows to carry out tests of detectors in automatic mode directly on the object, which is protected.

Devices for testing of heat detectors have been developed, which are presented in the form of structural diagrams, which allow to carry out tests of detectors in automatic mode directly on the site, which reduces the time of their carrying out and eliminates the possibility of occurrence of subunit-critical misses. Recommendations for testing of heat detectors have been developed.

It has been determined that the frequency of tests of heat detectors, which is established by the current regulatory document, is not justified in any way. Therefore, the recommended frequency of testing of heat detectors was calculated, which is 1.44 years.

Thus, the current scientific task of improving the system of operation of thermal fire detectors was solved.

Keywords: Heat detector, transient function, frequency characteristics, test methods, mathematical model, operation system, time constant, response time.

List of publications of the applicant

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:

Articles in the scientific professional editions of Ukraine, which are included in the international scientometric bases:

1. Kalchenko, Y. Y., Abramov, Y. A. Mathematical models of thermal fresh water heating // Fire Safety Problems. 2018. Issue 43. P. 58-63.

2. Abramov Y. A., Kalchenko Y. Y.. Determination of parameters of heat flow formation during object tests of thermal fire detectors // Fire Safety Problems. 2017. Issue 41. P. 3-9.

3. Kalchenko Y. Y., Abramov Y. A. Testing of thermal fire detectors // Problems of fire safety. 2019. Issue 45. P. 60-64.

4. Kalchenko Y. Y., Abramov Y. A. Identification of parameters in determining the dynamic characteristics of thermal fire detectors // Fire Safety Problems. 2017. Issue 42. P. 41-51.

5. Kalchenko, Y. Y. Abramov Y. O. Algorithms for control of the technical state of the sensors of the primary information of the system of mitigation of consequences of emergency situations // Problems of emergency situations. 2018. Issue 27. P. 39-46.

6. Kalchenko Y. Y., Abramov Y. O. Ways to control the technical condition of thermal fire detectors // Problems of emergency situations. 2018. Issue 44. P. 44-48.

7. Kalchenko Y. Y., Abramov Y. O. Ways of determining the time of activation of thermal fire detectors // Fire Safety Problems. 2020. Issue 46. P. 44-48.

Articles in scientific professional editions of Ukraine:

8. Abramov Y. A., Kalchenko Y. Yu. Mathematical support for testing thermal fire detectors // Fire Safety Problems. 2015. Issue 40. P. 5-11.

9. Abramov Y. A., Kalchenko Y. Y. Mathematical support of the autonomous method of field tests of thermal fire detectors // Fire Safety Problems. 2015. Issue 38. P. 3-8.

10. Kalchenko Y. Y., Abramov Y. A. Models of primary information sensors of emergency effects mitigation systems // Problems of emergency situations. 2015. Issue 22. P. 65-69.

11. Abramov Y. A., Kalchenko Y.Y. Mathematical models for object tests of thermal fire detectors // Fire Safety Problems. 2016. Issue 39. P. 3-8.

12. Kalchenko, Y. Yu., Abramov, Yu. A. Identification of the dynamic parameter of fire detectors with thermoresistive sensitive // Problems of fire safety. 2015. Issue. 37. P. 71-74.

13. Abramov Y. A., Kalchenko Y. Y. Choice of a method for determining the period of routine maintenance of sensors for mitigating the consequences of emergencies // Fire Safety Problems. 2015. Issue 21. P. 3-6.

Article in scientific edition of other countries in the direction from which the dissertation was prepared:

14. Abramov Yu., Kalchenko Y., Liashevskaya O. Determination of dynamic characteristics of heat fire detectors // Eureka: Physics and Engineering. 2019. №3. URL: <http://eu-jr.eu/engineering/article/view/898>.

Article in the scientific edition of the EU country which included in the Scopus database:

15. Abramov Yu. A., Kalchenko Ya. Yu. Choice of a sampling period when determining the dynamic characteristics of thermal fire detectors // Bulletin of the University of Civil Protection of Belarus. 2019. V.3. Issue 1. URL: <https://journals.ucp.by/index.php/jcp/article/view/168>.

Patents:

16. Test method for thermal fire detectors: Pat. 125948 Ukraine. № u201800548; applied 19.01.2018; published 25.05.2018, Bul. № 10. 4 p.

17. Method for determining the dynamic characteristics of thermal fire detectors: Pat. №111447 Ukraine. № u201604945; applied 04.05.2016; published 10.11.2016, Bul. № 21. 4 p.

18. Method for determining the dynamic characteristics of thermal fire detectors: Pat. № 118847 Ukraine. № u201702866; applied 27.03.2017; published 08.28.2017, Bul. № 16. 6 p.

19. The method of determining the time constant of thermal fire detectors: Pat. № 110086 Ukraine. № a 201413822; applied 23.12.2014; published 10.11.2017, Bul. № 21. 3 p.

20. The method of determining the time constant of thermal fire detectors: Pat. № 116932 Ukraine. № a 201607780; applied 14.07.2016; published 25.05.2018, Bul. № 10. 3 p.

21. The method for determining the time constant of a thermal fire detector with a thermally resistive sensing element: Pat. № 126609 Ukraine. № u 201801076; applied 02.05.2018; published 25.06.2018, Bul. № 12. 2 p.

22. Test method for thermal fire detectors: Pat. № 114947 Ukraine. № u 201610468; applied 17.10.2016; published 03.27.2017, Bul. № 16. 2 p.

23. Test method for thermal fire detectors: Pat. № 109863 Ukraine. № u 201602817; applied 03.21.2016; published 12.09.2016, Bul. № 17. 3 p.

24. Method for monitoring the technical condition of thermal fire detectors: Pat. № 126312 Ukraine. № u 2018 01080; applied 02/05/2018; published 11.06.2018, Bul. № 11.

25. Method for controlling thermal fire detectors: Pat. № 128949 Ukraine. № u 201805107; applied 08.05.2018; published 10.10.2018, Bul. № 19.

26. Method for testing thermal fire detectors with a thermally resistive sensing element: Pat. № 113824 Ukraine. № u 201609584; applied 16.09.2016; published 10.02.2017, Bul. № 3.

27. The method of monitoring the technical condition of thermal fire detectors: Pat. № 114979 Ukraine. № u 201610794; applied 10/27/2016; published 03.27.2017, Bul. № 6.

28. Method for determining the time of activation of thermal fire detectors with a thermally resistive sensing element: Pat. 110590 Ukraine. № a 2015 01322; applied 10.07.2015; published 01.12.2016, Bul. №1.

29. Method for determining the time of activation of thermal fire detectors with a thermally resistive sensing element: Pat. № 115933 Ukraine. № a 201604947; applied 12.26.2016; published 01.10.2018, Bul. №1.

30. Thermal Fire Detector: Pat. 111924 Ukraine. № u201505720; applied 10.06.2015; published 24.06.2016, Bul. № 12.

31. Fire detection device: Pat. 109671 Ukraine. № u201603129; applied 03.28.2016; published 08.25.2016, Bul. № 16. 5 p.

32. Fire detection device: Pat. 119158 Ukraine. № u201703726; applied 18.04.2017; published 09.09.2017, Bul. № 17.

33. Fire detection device: Pat. 114948 Ukraine. № u201610470; applied 17.10.2016; published 03.27.2017, Bul. № 6.

34. Fire detection device: Pat. 120533 Ukraine. № u201704007; applied 24.04.2017; published 10.11.2017, Bul. №21.

35. Thermal fire detector: Pat. 110189 Ukraine. № u201503033; applied 01.04.2015; published 25.11.2015, Bul. № 22.

Abstracts certifying the approbation of the dissertation materials:

36. Abramov Y. A., Kalchenko Y. Y. Analysis of the system of operation of thermal fire detectors // Materials of the VIII International scientific-practical conference "Theory and practice of firefighting and emergency management". Cherkasy, 2017. P. 107-108.

37. Abramov Y. A., Kalchenko Y. Y. Mathematical model of air flow during testing of heat fire detectors // Materials of International scientific-practical conference "Problems of civil protection: control, warning, emergency and rescue and special work." Kokshetau, 2017. P. 4-5.

38. Abramov Y. O., Kalchenko Y. Y. Mathematical Support for Object Testing of Thermal Fire Detectors // Materials of the 19th All-Ukrainian scientific-practical conference "The Current State of Civil Protection of Ukraine and Prospects for Development." Kyiv, 2017. P. 13.

39. Kalchenko Y. Y., Abramov Y. O. Determination of dynamic characteristics of thermal fire detectors in the frequency domain // Abstracts of the All-Ukrainian scientific-practical conference "Fire Safety: Problems and Prospects". Kharkiv, 2018. P. 210-211.

40. Kalchenko Y. Y., Abramov Y. O. Dynamic error in the formation of a test impact on a thermal fire detector // Abstracts of the All-Ukrainian scientific-practical conference "Fire Safety: Problems and Prospects". Kharkov, 2018. P. 219-220.

41. Kalchenko Y. Y., Abramov Y. O. The choice of discreteness interval in determining the dynamic characteristics of thermal fire detectors // Proceedings of the VIII International scientific-practical conference "Theory and Practice of Fire Extinguishing and Emergency Management". Cherkasy, 2019. P. 5-7.