

УДК 614.841.52

ВЫБОР ПЕРИОДА ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ**Абрамов Ю.А., Кальченко Я.Ю.**

Рассмотрен метод определения частотных характеристик тепловых пожарных извещателей, основанный на использовании временной характеристики. Аппроксимация временной характеристики осуществляется с использованием функции Хевисайда в дискретные моменты времени. Получены оценки величины погрешности, возникающей при определении частотных характеристик тепловых пожарных извещателей класса А1. Установлено, что выбор интервала дискретизации во времени при определении частотных характеристик тепловых пожарных извещателей зависит от величины их постоянной времени. Приведены рекомендации по определению интервала дискретизации при определении частотных характеристик тепловых пожарных извещателей класса А1, в основе которых лежит использование допустимых значений погрешностей аппроксимации этих характеристик.

Ключевые слова: тепловые пожарные извещатели, динамические характеристики, период дискретизации, погрешность.

(Поступила в редакцию 12 декабря 2018 г.)

Введение. Эффективность определения возгораний зависит от ряда факторов, одним из которых является надежность систем пожарной сигнализации. Процесс эксплуатации этих систем состоит из технических и организационных мероприятий. Одним из этапов технических мероприятий является проверка работоспособности пожарных извещателей. Согласно нормативным документам [1, 2] она осуществляется на специальных установках, где температура воздействия на извещатель линейно возрастает. При осуществлении проверки работоспособности тепловых пожарных извещателей таким методом определяется время и температура их срабатывания, а такая характеристика, как постоянная времени, которая нормируется этими нормативными документами, не определяется. В нормативных документах США [3], Великобритании [4], Франции [5] и Германии [6] регламентируются методы проведения проверки работоспособности тепловых пожарных извещателей непосредственно на объекте, которые осуществляются по принципу «сработал – не сработал». Исходя из этого динамические характеристики извещателей определяются только во временной области и не определяются в частотной. Определение динамических характеристик тепловых пожарных извещателей в частотной области позволяет осуществлять их проверку более качественно, поскольку она может проводиться без срабатывания устройств, а на основании полученных данных можно вычислить и другие их динамические характеристики.

Классический метод определения частотных характеристик заключается в формировании гармоничного сигнала на извещатель и измерения амплитуды выходного сигнала на каждой частоте [6]. Техническая реализация такого метода достаточно проблематична, поскольку на извещатель необходимо создать тепловое воздействие, температура которого изменяется по гармоническому закону, и измерять выходной сигнал извещателя на каждой частоте, что делает процесс достаточно длительным. В этой связи появилась необходимость разработки новых методов определения частотных характеристик тепловых пожарных извещателей. В [7] был предложен метод определения частотных характеристик тепловых пожарных извещателей, основанный на использовании переходной функции. Применение этого метода оставляет открытым вопрос о выборе периода дискретизации при аппроксимации переходной функции теплового пожарного извещателя.

Цель работы – выбор периода дискретизации при определении частотных характеристик тепловых пожарных извещателей.

Основная часть. Метод определения частотных характеристик тепловых пожарных извещателей, приведенный в [7], осуществляется следующим образом. Температуру среды, в которой находится тепловой пожарный извещатель, скачкообразно во времени увеличивают от начальной величины T_0 до величины T_1 . При таком воздействии температура чув-

ствительного элемента устройства $T(t)$ относительно начальной величины T_0 изменится на величину $\theta(t) = T(t) - T_0$, как это показано на рисунке 1.

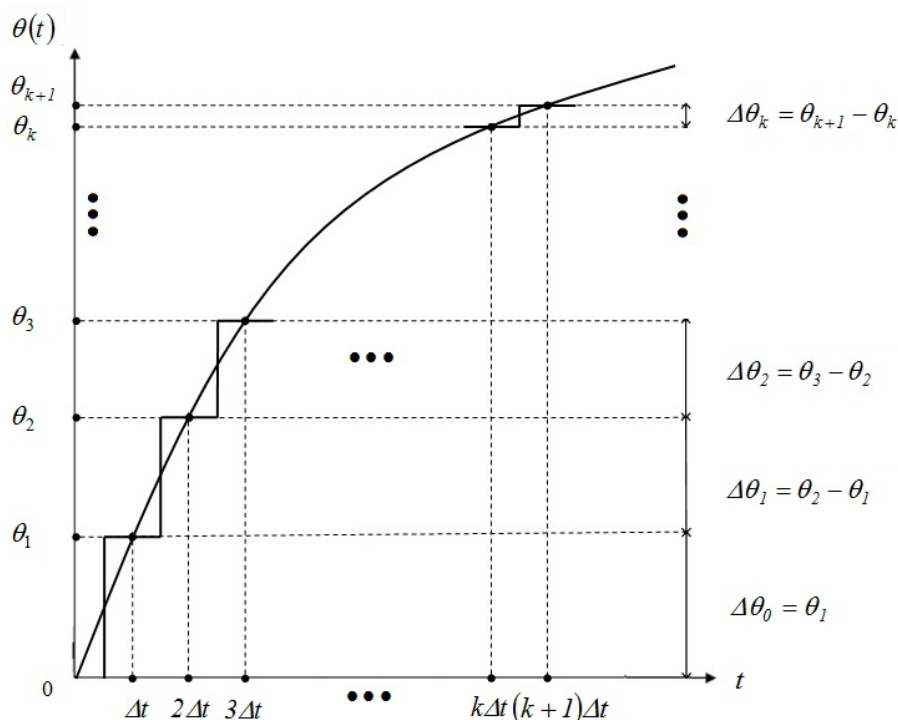


Рисунок 1. – Температура чувствительного элемента теплового пожарного извещателя относительно начального значения T_0 при воздействии на него скачкообразным изменением температуры

Затем через одинаковый интервал времени Δt – период дискретизации, измеряется приращение $\Delta\theta_k = \theta_{k+1} - \theta_k$ температуры чувствительного элемента относительно предыдущего момента времени, что дает возможность получить полную информацию об изменении температуры $\theta(t)$ при скачкообразном тепловом воздействии на тепловой пожарный извещатель.

Наличие массива данных $\Delta\theta_0, \Delta\theta_1, \dots, \Delta\theta_k, \Delta\theta_{k+1}, \Delta\theta_n$ позволяет аппроксимировать функцию $\theta(t)$ следующим образом:

$$\theta(t) = \sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot 1(t - (k + 0,5)\Delta t), \quad (1)$$

где $1(\cdot)$ – функция Хевисайда.

Применим к выражению (1) интегральное преобразование Лапласа, после чего получим

$$\theta(p) = \int_0^{\infty} \theta(t) \exp(-pt) dt = p^{-1} \sum_{k=0}^n \Delta\theta_k \cdot \exp[-p(k + 0,5)\Delta t]. \quad (2)$$

Для данного случая передаточную функцию теплового пожарного извещателя можно представить в виде

$$W(p) = \frac{\theta(p)}{\Delta T(p)}, \quad (3)$$

где $\Delta T(p)$ – изображение по Лапласу от функции, которая описывает тепловое воздействие на чувствительный элемент теплового пожарного извещателя:

$$\Delta T(p) = (T_1 - T_0)p^{-1}. \quad (4)$$

С учетом (2) и (4) выражение для передаточной функции можно представить в виде

$$W(p) = (T_1 - T_0)^{-1} \sum_{k=0}^n \Delta \theta_k \cdot \exp[-p(k + 0,5)\Delta t]. \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что амплитудно-фазовая частотная характеристика теплового пожарного извещателя будет описываться выражением

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= W(p) \Big|_{p=j\omega} = (T_1 - T_0)^{-1} \sum_{k=0}^n \Delta \theta_k \cdot \exp[-j\omega(k + 0,5)\Delta t] = \\ &= (T_1 - T_0)^{-1} \sum_{k=0}^n \Delta \theta_k [\cos[\omega(k + 0,5)\Delta t] - j\sin[\omega(k + 0,5)\Delta t]], \end{aligned} \quad (6)$$

где j – мнимая единица; ω – круговая частота.

Амплитудно-частотная $A(\omega)$ и фазово-частотная $\phi(\omega)$ характеристики связаны с амплитудно-фазовой частотной характеристикой $W(j\omega)$ следующим образом:

$$\begin{aligned} A(\omega) &= \text{mod } W(j\omega); \\ \phi(\omega) &= \text{arg } W(j\omega). \end{aligned} \quad (7)$$

В этой связи можно записать выражения для определения амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик теплового пожарного извещателя:

$$A(\omega) = (T_1 - T_0)^{-1} \left[\left(\sum_{k=0}^n \Delta \theta_k \cdot \cos[\omega(k + 0,5)\Delta t] \right)^2 + \left(\sum_{k=0}^n \Delta \theta_k \cdot \sin[\omega(k + 0,5)\Delta t] \right)^2 \right]^{0,5}; \quad (8)$$

$$\phi(\omega) = -\text{arctg} \frac{\sum_{k=0}^n \Delta \theta_k \cdot \sin[\omega(k + 0,5)\Delta t]}{\sum_{k=0}^n \Delta \theta_k \cdot \cos[\omega(k + 0,5)\Delta t]}. \quad (9)$$

Из выражений (8) и (9) следует, что величина погрешности при определении амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик теплового пожарного извещателя приведенным способом во многом зависит от величины интервала дискретизации Δt .

Величину Δt можно определить по теореме Котельникова:

$$\Delta t = 0,5 f_m^{-1}, \quad (10)$$

где f_m – максимальная частота спектральной характеристики функции $\theta(t)$.

Такой подход определения периода дискретизации имеет ряд трудностей, связанных с выбором максимальной частоты спектральной характеристики. В частности, имеет место неопределенность в выборе величины спектральной плотности, которой соответствует максимальная частота спектральной характеристики.

В этой связи можно определить период дискретизации исходя из допустимого уровня погрешности, который согласно [1] принимается равным 5 %.

Погрешности при определении частотных характеристик тепловых пожарных извещателей будут определяться выражениями:

$$\delta_A(\omega) = \left| \frac{A(\omega) - A_0(\omega)}{A_0(\omega)} \right|; \quad (11)$$

$$\delta_\phi(\omega) = \left| \frac{\phi(\omega) - \phi_0(\omega)}{\phi_0(\omega)} \right|, \quad (12)$$

где $A(\omega)$, $\phi(\omega)$ определяются по формулам (8) и (9), а $A_0(\omega)$ и $\phi_0(\omega)$ – образцовые амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики соответственно, выражения для которых имеют вид:

$$A_0(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}}; \quad (13)$$

$$\phi_0(\omega) = -\arctg \omega \tau. \quad (14)$$

Рассмотрим тепловые пожарные извещатели класса А1, постоянная времени которых согласно [1] $\tau \leq 20$ с, а их минимальная температура срабатывания равна 54 °С. Построим зависимость погрешности при определении частотных характеристик тепловых пожарных извещателей класса А1 от периода дискретизации и величины постоянной времени извещателя при скачкообразном изменении температуры среды, в которой он находится, с 25 до 54 °С. Графики этих зависимостей представлены на рисунках 2 и 3.

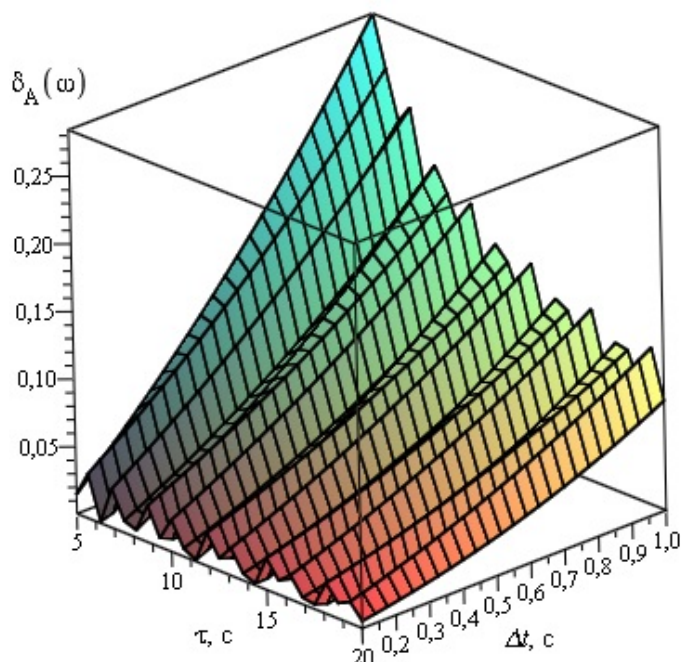


Рисунок 2. – Зависимость погрешности при определении амплитудно-частотной характеристики теплового пожарного извещателя класса А1 от постоянной времени и периода дискретизации

Как следует из рисунка 2, с увеличением периода дискретизации погрешность при определении амплитудно-частотной характеристики извещателя возрастает. Максимальная величина погрешности при определении амплитудно-частотных характеристик тепловых пожарных извещателей при интервале дискретизации $\Delta t = 1$ с для извещателей с постоянными времени $\tau = (20; 10; 5)$ с соответственно составляет 8,2; 17,1 и 28,4 %. Т. к. допустимый уровень погрешности не должен превышать 5 %, то для извещателей с постоянной времени $\tau = 20$ с целесообразно выбрать интервал дискретизации $\Delta t = 0,73$ с, с постоянной времени $\tau = 10$ с – $\Delta t = 0,30$ с, а для извещателей с постоянной времени $\tau = 5$ с – $\Delta t = 0,24$ с.

Анализ зависимости на рисунке 3 свидетельствует о том, что с увеличением периода дискретизации погрешность определения фазо-частотной характеристики, как и в случае с амплитудно-частотной характеристикой, возрастает. Максимальная погрешность при определении фазо-частотных характеристик тепловых пожарных извещателей при интервале дискретизации $\Delta t = 2$ с для извещателей с постоянной времени $\tau = (5; 10; 20)$ с соответственно будет 5,2; 3,3 и 1,2 %, поэтому для извещателей с постоянной времени $\tau = (10; 20)$ с, целесообразно выбрать интервал дискретизации $\Delta t = 2$ с, а для извещателей с постоянной времени $\tau = 5$ с – $\Delta t \leq 1,97$ с.

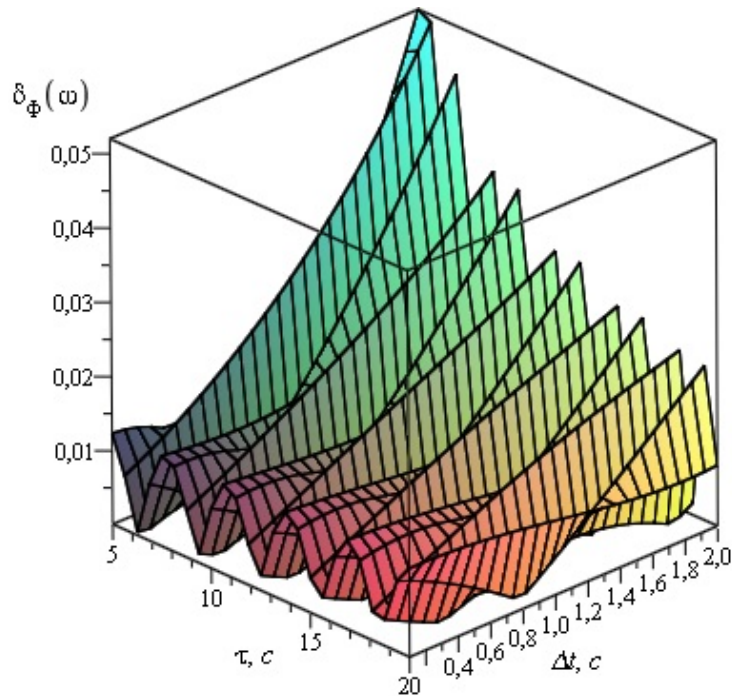


Рисунок 3. – Зависимость погрешности при определении фазо-частотной характеристики теплового пожарного извещателя класса А1 от постоянной времени и периода дискретизации

Выводы. Определены допустимые периоды дискретизации при определении частотных характеристик тепловых пожарных извещателей класса А1 с постоянной времени $\tau \leq 20$ с. Показано, что выбор периода дискретизации при определении частотных характеристик тепловых пожарных извещателей во многом зависит от величины их постоянных времени. При определении амплитудно-частотной характеристики извещателя с постоянной времени $\tau = 20$ с с допустимым уровнем погрешности 5 % интервал дискретизации должен быть $\Delta t \leq 0,73$ с, а для извещателя с постоянной времени $\tau = 5$ с – $\Delta t \leq 0,24$ с. При определении фазо-частотной характеристики теплового пожарного извещателя погрешность не так сильно зависит от постоянной времени извещателя, как при определении амплитудно-частотной характеристики, поэтому для извещателя с постоянной времени $\tau = 20$ с с допустимым уровнем погрешности 5 % интервал дискретизации должен быть $\Delta t \leq 2$ с, а для извещателя с постоянной времени $\tau = 5$ с – $\Delta t \leq 1,97$ с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системи пожежної сигналізації. Ч. 5. Сповісшувачі пожежні теплові точкові. (EN 54-5: 2000, IDT): ДСТУ EN 54-5:2003 – Введ. 16.12.2003. – Київ: Держспоживстандарт України, 2004. – 162 с.
2. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний: ГОСТ Р 53325-2012. – Введ. 01.01.2014. – М.: Стандарт-информ, 2012. – 270 с.
3. NFPA 72 National Fire Alarm and Signaling Code [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nfpa.org/Assets/files/AboutTheCodes/72/72-13ROPDraft.pdf>. – Дата доступа: 12.12.2018.
4. BS 5839-1:2017 Fire detection and fire alarm systems for buildings. Code of practice for design, installation, commissioning and maintenance of systems in non-domestic premises [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nioec.com/Training/%D8%B7%D8%B1%D8%A7%D8%AD%D9%8A%20%D8%B3%D9%8A%D8%B3%D8%AA%D9%85%20%D9%87%D8%A7%D9%8A%20%D8%A7%D8%B9%D9%84%D8%A7%D9%85%20%D8%AD%D8%B1%D9%8A%D9%82/BS5389-1.pdf>. – Дата доступа: 12.12.2018.
5. Rule APSAD R7 – Automatic Fire Detection. – Введ. 01.03.2014. – Vertou: CNPP Editions, 2007. – 113 с.
6. DIN 14675:2003-11 Fire detection and fire alarm systems – Part 1: Design and operation. – Affirmed 01.04.2018. – German: Benth Verlag GmbH, 2018. – 80 с.
7. Спосіб визначення динамічних характеристик теплових пожежних сповісшувачів: пат. UA № 111447 / Ю.О. Абрамов, Я.Ю. Кальченко, В.О. Собина. – Опубл. 10.11.2016.

SELECTION OF THE SAMPLING INTERVAL IN DETERMINING THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THERMAL FIRE DETECTORS

Yuriy Abramov, Grand PhD in Technical Sciences, Professor

Yaroslav Kalchenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Purpose. A method for determining the frequency characteristics of thermal fire detectors, which is based on the use of time characteristics, is considered.

Methods. The transition function is approximated by local Heaviside functions, which allows, using the integral Laplace transforms, to go to approximate expressions for the transfer function of the heat fire detector.

Findings. The recommendations for determining the sampling interval in determining the frequency characteristics of heat fire detectors class A1 are given. The basis of these recommendations is the use of permissible values of the approximation error of these frequency characteristics.

Application field of research. The values obtained can be used to test thermal fire detectors by determining their frequency characteristics.

Conclusions. The permissible sampling intervals in determining the frequency characteristics of thermal fire detectors class A1 have been determined. It is shown that the choice of the sampling interval in determining the frequency characteristics of thermal fire detectors depends largely on the magnitude of their time constants.

Keywords: fire detectors, dynamic characteristics, sampling interval, error.

(The date of submitting: December 12, 2018)

REFERENCES

1. *Sistemi pozhezhnoi signalizatsii. Chastina 5. Spovishchuvachi pozhezhni teplovi tochkovi (EN 54-5: 2000, IDT): DSTU EN 54-5:2003* [Fire alarm systems. Part 5. Detectors fire thermal points (EN 54-5: 2000, IDT): DSTU EN 54-5:2003]. Affirmed December 16, 2003. Kiev: State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy, 2004. 162 p. (ukr)
2. *Tekhnika pozharnaya. Tekhnicheskie sredstva pozharnoy avtomatiki. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy: GOST R 53325-2012* [Fire equipment. Technical means of fire automatics. General technical requirements and test methods: Russian standard 53325-2012]. Affirmed January 01, 2014. Moscow: Standart inform, 2012. 270 p. (rus)
3. *NFPA 72 National Fire Alarm and Signaling Code*, available at: <https://www.nfpa.org/Assets/files/AboutTheCodes/72/72-13ROPDraft.pdf> (accessed: December 12, 2018).
4. *BS 5839-1:2017 Fire detection and fire alarm systems for buildings. Code of practice for design, installation, commissioning and maintenance of systems in non-domestic premises*, available at: <http://www.nioec.com/Training/%D8%B7%D8%B1%D8%A7%D8%AD%D9%8A%20%D8%B3%D9%8A%D8%B3%D8%AA%D9%85%20%D9%87%D8%A7%D9%8A%20%D8%A7%D8%B9%D9%84%D8%A7%D9%85%20%D8%AD%D8%B1%D9%8A%D9%82/BS5389-1.pdf> (accessed: December 12, 2018).
5. *Rule APSAD R7. Automatic Fire Detection*. Affirmed March 3, 2014. Vertou: CNPP Editions, 2007. 113 p.
6. *DIN 14675:2003-11 Fire detection and fire alarm systems. Part 1: Design and operation*. Affirmed April 1, 2018. German: Benth Verlag GmbH, 2018. 80 p.
7. Abramov YU.O., Kal'chenko YA.YU., Sobina V.O. *Sposib viznachennya dinamichnikh kharakteristik teplovikh pozhezhnikh spovishchuvachiv* [Method for determining the dynamic characteristics of thermal fire detectors]: patent UA No. 111447. Published November 10, 2016. (ukr)