

УДК 614.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРА КЛАССА В ПРИ ЕГО ТУШЕНИИ РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Абрамов Ю.А., Тищенко Е.А.

Разработан алгоритм экспериментального определения частотных характеристик пожара класса В при его тушении распыленной водой.

Ключевые слова: пожар класса В, распыленная вода, частотные характеристики.

(Поступила в редакцию 5 октября 2016 г.)

Введение. Математическое описание процессов, имеющих место при тушении пожаров класса В распыленной водой, в большинстве случаев носит эмпирический характер и, как правило, сводится к получению функциональной зависимости между показателем, отражающим эффект от использования системы пожаротушения, и показателем, характеризующим управляющее воздействие на очаг горения [1,2]. В качестве таких показателей обычно используются время тушения и интенсивность подачи распыленной воды. Однако такая функциональная зависимость определяется в установившемся режиме тушения пожара, вследствие чего она не характеризует динамические свойства такого процесса. Для описания динамических свойств пожара класса В при его тушении распыленной водой возможно использование уравнения Фурье [3], но такой подход имеет ряд ограничений при его распространении на решение задач, связанных с проектированием систем пожаротушения. Использование передаточных функций для описания динамических свойств пожара класса В при тушении распыленной водой [4] существенно расширяет возможности при решении задач, связанных с проектированием, в частности, систем автоматического пожаротушения. Одним из методов, который направлен на решение таких задач, является частотный метод, который предполагает наличие в качестве исходных данных частотных характеристик пожара [5]. Определение частотных характеристик пожара класса В при его тушении распыленной водой экспериментальным путем обуславливает необходимость в изменении интенсивности ее подачи в очаг горения по гармоническому закону. Для реализации такой процедуры должна быть проведена соответствующая модернизация системы автоматического пожаротушения.

В этой связи возникает задача по экспериментальному определению частотных характеристик пожара класса В при его тушении распыленной водой при функционировании систем автоматического пожаротушения в штатном режиме.

Основная часть. Амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ) пожара класса В при его тушении распыленной водой определяется выражением

$$W(j\omega) = \theta(p)I^{-1}(p) \Big|_{p=j\omega}, \quad (1)$$

где $\theta(p)$, $I(p)$ – изображение по Лапласу от относительной температуры поверхности горячей жидкости $\theta(t)$ и интенсивности подачи распыленной воды $I(t)$ соответственно; $\omega = V^{-2}aQ$ – безразмерная круговая частота; Q – размерная круговая частота; V – скорость выгорания жидкости; a – коэффициент температуропроводности горючей жидкости; j – мнимая единица;

$$\theta(t) = [T_{кин} - T(t)] \cdot [T_{кин} - T_{ок}]^{-1}; \quad (2)$$

$T_{кин}$, $T_{ок}$, $T(t)$ – температура кипения горючей жидкости, температура окружающей среды и температура поверхности горячей жидкости соответственно.

Если тушение горячей жидкости осуществляется путем подачи в очаг горения распыленной воды постоянной интенсивности, т. е. при $I(t) = I_0 = const$, то температура поверхности этой жидкости будет изменяться так, как это показано на рисунке 1.

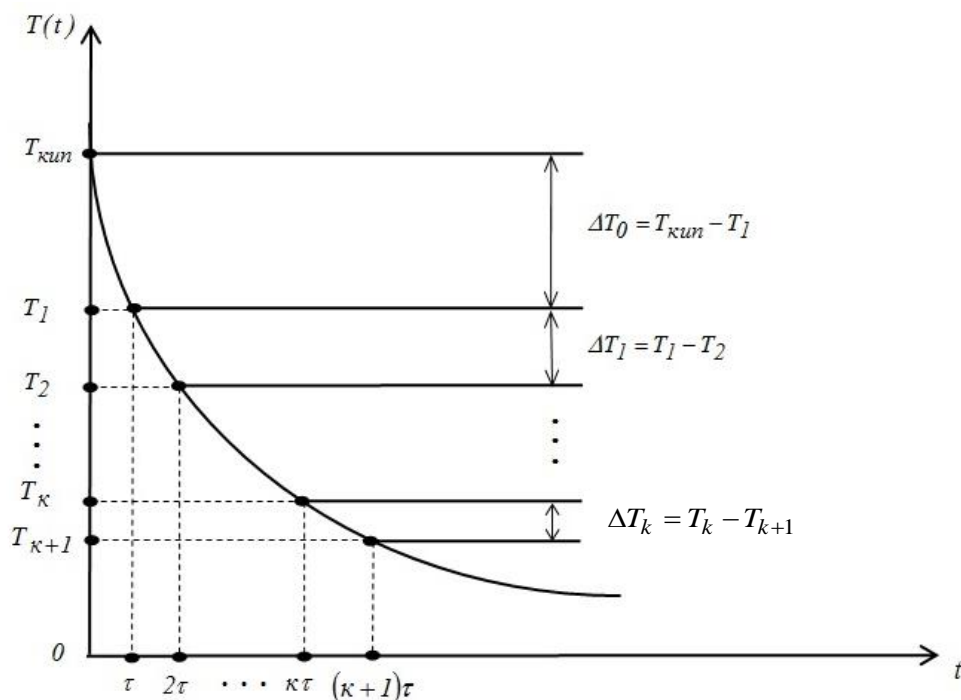


Рисунок 1 – Изменение температуры поверхности горячей жидкости при ее тушении

Будем с помощью датчика температуры, помещенного в горючую жидкость, в моменты времени, отстоящие друг от друга на величину τ , измерять величину снижения температуры поверхности горячей жидкости ΔT_k относительно предыдущего момента времени, т. е. в момент времени $(k+1)\tau$ – измерять величину $\Delta T_k = T_k - T_{k+1}$. Вследствие того, что изменению температуры поверхности горячей жидкости $T(t)$ при ее тушении соответствует изменение относительной температуры $\theta(t)$ (см. рисунок 2), то в момент времени $(k+1)\tau$ величине ΔT_k будет соответствовать величина $\Delta \theta_k$. Для этих величин справедливо соотношение.

$$\Delta \theta_k = \Delta T_k (T_{kun} - T_{ок})^{-1}. \quad (3)$$

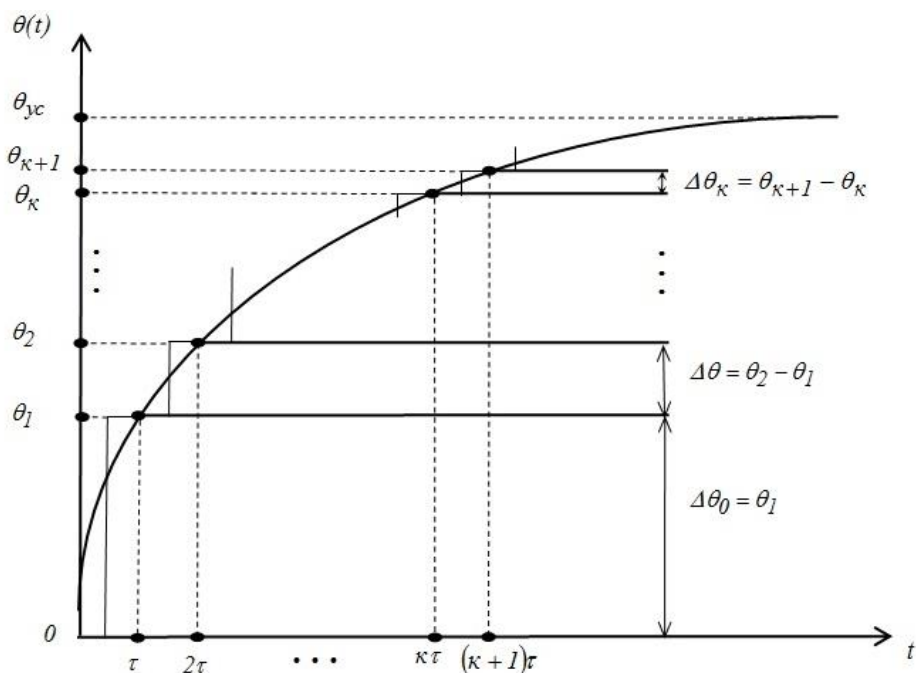


Рисунок 2 – Изменение относительной температуры поверхности горячей жидкости при ее тушении

Интервал времени τ выбирается в соответствии с теоремой Котельникова-Найквиста-Шеннона [6]

$$\tau = 0,5 f_m^{-1}, \quad (4)$$

где f_m – максимальное значение частоты спектра функции $T(t)$.

Функция $\theta(t)$ может быть аппроксимирована следующим образом (см. рисунок 2)

$$\begin{aligned} \theta(t) = & \Delta\theta_0 \cdot 1(t - 0,5\tau) + \Delta\theta_1 \cdot 1(t - 1,5\tau) + \dots + \\ & + \Delta\theta_\kappa \cdot 1(t - (\kappa + 0,5)\tau) + \dots = \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cdot 1(t - (\kappa + 0,5)\tau), \end{aligned} \quad (5)$$

где $1(\cdot)$ – функция Хевисайда.

Применяя к (5) интегральное преобразование Лапласа, получим

$$\theta(p) = p^{-1} \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cdot \exp[-p(\kappa + 0,5)\tau], \quad (6)$$

где p – комплексное число.

Тогда из определения передаточной функции [7] следует

$$\theta(p) = p^{-1} I_0 \cdot W(p) = p^{-1} \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cdot \exp[-p(\kappa + 0,5)\tau], \quad (7)$$

где $W(p)$ – передаточная функция пожара класса В.

Из (7) следует выражение для АФЧХ пожара класса В при его тушении распыленной водой

$$W(j\omega) = W(p) \Big|_{p=j\omega} = I_0^{-1} \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cdot \exp[-j\omega(\kappa + 0,5)\tau] \quad (8)$$

Если учесть связь между показательной, тригонометрической и алгебраической формами представления комплексных чисел, то выражение (8) можно переписать следующим образом

$$W(j\omega) = I_0^{-1} \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa [\cos[\omega(\kappa + 0,5)\tau] - j \sin[\omega(\kappa + 0,5)\tau]] = M(\omega) + jN(\omega), \quad (9)$$

где $M(\omega) = I_0^{-1} \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cdot \cos[\omega(\kappa + 0,5)\tau]$ – вещественная частотная характеристика пожара;

$N(\omega) = -I_0^{-1} \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cdot \sin[\omega(\kappa + 0,5)\tau]$ – мнимая частотная характеристика пожара.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) и фазо-частотная характеристика (ФЧХ) пожара класса В будут соответственно определяться выражением

$$A(\omega) = I_0^{-1} \left[\left[\sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cos[\omega(\kappa + 0,5)\tau] \right]^2 + \left[\sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \sin[\omega(\kappa + 0,5)\tau] \right]^2 \right]^{0,5}; \quad (10)$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg \left[\left[\sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \sin[\omega(\kappa + 0,5)\tau] \right] \cdot \left[\sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cos[\omega(\kappa + 0,5)\tau] \right]^{-1} \right]. \quad (11)$$

Следует заметить, что выражения для частотных характеристик пожара (8)–(11) получены при условии, что измерения приращений ΔT_κ производятся безынерционным измерителем.

В том случае, когда инерционными свойствами измерителя температуры пренебречь нельзя, результатом реализации рассмотренного алгоритма будет АФЧХ совместно пожара $W(j\omega)$ и измерителя температуры $W_\tau(j\omega)$, т. е.

$$\begin{aligned} W_c(j\omega) &= W(j\omega)W_T(j\omega) = A_c(\omega)\exp[j\phi_c(\omega)] = \\ &= A(\omega)A_T(\omega)\exp\left[j\left[\phi(\omega) + \phi_T(\omega)\right]\right], \end{aligned} \quad (12)$$

где $A_T(\omega)$, $\phi_T(\omega)$ – соответственно АЧХ и ФЧХ измерителя температуры.

Из (12) следуют выражения для АФЧХ, АЧХ и ФЧХ пожара класса В при его тушении распыленной водой с учетом инерционных свойств измерителя температуры:

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= W_c(j\omega)W_T^{-1}(j\omega); \quad A(\omega) = A_c(\omega)A_T^{-1}(\omega); \\ \phi(\omega) &= \phi_c(\omega) - \phi_T(\omega). \end{aligned} \quad (13)$$

В этих выражениях частотные характеристики с индексом «с» определяются в соответствии с выражениями (9)–(11), а частотные характеристики измерителя температуры, имеющие индекс «Т», в первом приближении могут описываться выражениями [7]

$$\begin{aligned} W_T(j\omega) &= K(1 + \omega^2\tau_0^2)^{-1} - j\omega\tau_0K(1 + \omega^2\tau_0^2)^{-1}; \\ A_T(\omega) &= K(1 + \omega^2\tau_0^2)^{-0,5}; \quad \phi_T(\omega) = -\arctg\omega\tau_0, \end{aligned} \quad (14)$$

где K , τ_0 – коэффициент передачи и постоянная времени измерителя температуры соответственно.

Заключение. Определение частотных характеристик пожара класса В при его тушении распыленной водой в отличие от использования традиционного подхода, основанного на необходимости формирования входного воздействия, изменяющегося по гармоническому закону во времени, предполагает получение исходной информации по изменению температуры поверхности горячей жидкости при подаче в очаг горения распыленной воды, интенсивность которой описывается функцией Хевисайда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кухно, А.Н. Зависимость времени тушения от интенсивности подачи воды / А.Н. Кухно, Е.Н. Панин // Пожаротушение. – М.: ВНИИПО, 1984. – С. 84-93.
2. Абдурагимов, Н.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / Н.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров. – М.: ВНИПШ МВД СССР, 1980. – 253 с.
3. Абрамов, Ю.А. Математическое описание процесса тушения пожара класса В распыленной водой / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь // Пожежна безпека: Теорія і практика. – Черкаси: ЧАПБ, 2012. – № 12. – С. 4-8.
4. Абрамов, Ю.А. Математические модели пожара класса В при его тушении распыленной водой / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – Гомель: ГИИ МЧС Республики Беларусь, 2013. – Т. 8. – № 1. – С. 15-19.
5. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. – 832 с.
6. Биккенин, Р.Р. Теория электрической связи / Р.Р. Биккенин, М.Н. Чесноков. – М.: Академия, 2010. – 329 с.
7. Абрамов, Ю.А. Основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Харьков: ХВПТУ, 1993. – 288 с.

LEARNING THE FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE CLASS B FIRE WHEN IT IS BEING EXTINGUISHED BY WATER SPRAY

Yuriy Abramov, Doctor of Technical Sciences, Professor
National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Evgeniy Tischenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Cherkassy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chornobyl of National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkassy, Ukraine

Purpose. Experimental obtaining of the frequency characteristics of the class B fire when it is being extinguished by water spray.

Methods. Using the Heaviside function for obtaining the dynamic characteristic of class B fire when it is being extinguished by water spray.

Findings. Analytical expressions of the frequency characteristics are obtained and its graphical interpretation is presented.

Application field of research. The obtained models could be used for water spray extinguishing systems for class B fires.

Conclusions. The expressions for the frequency characteristics of the class B fire while extinguishing by water spray are obtained.

Keywords: class B fire, water spray, frequency characteristics.

(The date of submitting: October 5, 2016)

REFERENCES

1. Kuhno A.N., Panin E.N. Zavisimost vremeni tusheniya ot intensivnosti podachi vody [Dependence of extinguishing time from water supply] *Pozharotushenie*. Moscow: VNIPO, 1984. Pp. 84-93. (rus)
2. Abduragimov N.M., Govorov V.Y., Makarov V.E. *Fiziko-himicheskie osnovy razvitiya i tusheniya pozharov* [Physical and chemical properties bases of fire development and extinguishing] Moscow: VNPTSh MVD SSSR, 1980. 253 p. (rus)
3. Abramov Y.A., Gvozd V.M. Matematicheskoe opisanie processa tusheniya pozhara klassa B raspylennoy vodoy [Mathematical description of the extinguishing class B fire by water spray] *Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktika*. Cherkassy: ChAPB, 2012. No 12. Pp. 4-8. (rus)
4. Abramov Y.A., Gvozd V.M. Matematicheskie modeli pozhara klassa B pri ego tushenii raspylennoy vodoy [Mathematical models of class B fire while extinguishing by water spray] *Chrezvychnyie situacii: obrazovanie i nauka*. Gomel: GII MChS Belarus republic, 2013. Vol. 8. No. 1. Pp. 15-19. (rus)
5. Dorf R., Bishop R. *Sovremennye sistemy upravleniya* [Current systems of management] Moscow: Laboratorija bazovyh znaniy, 2004. 832 p. (rus)
6. Bikkenin R.R., Chesnokov M.N. *Teoriya elektricheskoy svyazi* [Theory of electrical connection] Moscow: Akademiya, 2010. 329 p. (rus)
7. Abramov Y.A. *Osnovy pozharnoy avtomatiki* [Bases of fire autamtics] Kharkiv: KhVPTU, 1993. 288 p. (rus)