

Е.А. Тищенко, к.т.н., доцент, нач. каф., ЧИПБ им. Г. Чернобыля НУГЗУ

АЛГОРИТМЫ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛЬНЫХ ОЧАГОВ ПОЖАРА КЛАССА В

(представлено д.т.н. Абрамовым Ю.А.)

Разработаны алгоритмы контроля применительно к модельным очагам пожара класса В, тушение которых производится распыленной водой. В основе таких алгоритмов лежит использование переходной функции пожара, которая определяется экспериментально.

Ключевые слова: модельный очаг пожара, динамические характеристики пожара, алгоритм контроля.

Постановка проблемы. Эффективность функционирования систем автоматического пожаротушения в значительной степени определяется совершенством ее системы эксплуатации. Такая система эксплуатации включает контроль технического состояния систем автоматического пожаротушения. Одной из проблем при разработке алгоритмов контроля систем автоматического пожаротушения является учет динамических свойств тестирующих элементов, к которым относятся модельные очаги пожара.

Анализ последних исследований и публикаций. Огневые испытания систем автоматического пожаротушения с огнетушащим веществом в виде распыленной воды проводятся с использованием модельных очагов пожара, которые отличаются достаточно большим диапазоном варьирования их параметров [1]. В частности, площадь очага пожара лежит в диапазоне $(0,06 \div 7,32) \text{ м}^2$, а количество горючей жидкости находится в диапазоне $(2,0 \div 233,0) \text{ л}$. Динамические свойства таких модельных очагов пожара наиболее полно приведены в [2], однако авторы не рассматривают прикладные аспекты синтезированных динамических характеристик таких очагов пожара. Следует особо отметить, что в настоящее время отсутствуют сведения касательно методов контроля характеристик и параметров модельных очагов пожара. Это обстоятельство обуславливает достаточно большую степень неопределенности при их использовании в качестве тест-воздействий для испытаний систем автоматического пожаротушения.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является обоснование алгоритмов контроля модельных очагов пожара класса В. В [2] показано, что в качестве математической модели пожара класса В при его тушении системой автоматического пожаротушения с огнетушащим веществом в виде распыленной воды может быть использована передаточная функция вида

$$W(p) = K(\tau p + 1)^{-0,5}, \quad (1)$$

где K, τ – коэффициент передачи и постоянная времени соответственно.

Такой передаточной функции будет соответствовать переходная функция $H(t)$, определяемая выражением [3]

$$H(t) = L^{-1} \left[K I \left[p(\tau p + 1)^{0,5} \right]^{-1} \right] = K \operatorname{erf} \left[(t\tau^{-1})^{0,5} \right] \quad (2)$$

где L^{-1} – оператор обратного преобразования Лапласа; $I = \text{const}$ – интенсивность подачи распыленной воды в очаг горения.

Параметр K определяется выражением [4]

$$K = r a k_0 [V \lambda (T_k - T_0)]^{-1}, \quad (3)$$

где r – теплота испарения воды; a – коэффициент температуропроводности горючей жидкости; k_0 – коэффициент использования воды; V – линейная скорость распространения пламени; λ – теплопроводность горючей жидкости; T_k – температура кипения горючей жидкости; T_0 – температура окружающей среды.

В частотной области передаточной функции (1) будет соответствовать амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ) пожара класса В, которая может быть представлена в виде

$$W(j\omega) = K(1 + j\omega\tau)^{-0,5} = |W(j\omega)| \exp[j \arg W(j\omega)], \quad (4)$$

где ω – круговая частота; j – мнимая единица.

Модуль АФЧХ, т.е. амплитудно-частотная характеристика $A(\omega)$ пожара определяется выражением

$$|W(j\omega)| = A(\omega) = K \left[(1 + \omega^2 \tau^2)^{0,5} \right]^{-0,5} = K (1 + \omega^2 \tau^2)^{-0,25}, \quad (5)$$

а аргумент АФЧХ, т.е. фазовая частотная характеристика $\varphi(\omega)$ пожара – выражением

$$\varphi(\omega) = -0,5 \arctg \omega \tau, \quad (6)$$

что следует из соотношения между алгебраической и тригонометрической формами представления функции $W(j\omega)$, т.е.

$$W(j\omega) = K(1 + j\omega\tau)^{-0,5} = K \left[(1 + \omega^2\tau^2)^{0,5} \right]^{-0,5} \times \\ \times [\cos[(-0,5)\arctg\omega\tau] + j\sin[(-0,5)\arctg\omega\tau]] \quad (7)$$

В выражении (7) аргументом тригонометрических функций является выражение для $\varphi(\omega)$.

Следует заметить, что выражение для фазовой частотной характеристики пожара в [4] получено с использованием интегрального преобразования Гильберта применительно к оригиналу в виде амплитудно-частотной характеристики $A(\omega)$, определяемой выражением (5).

Аналитические выражения для динамических характеристик пожара класса В при его тушении распыленной водой являются исходными данными для формирования алгоритмов контроля модельных очагов пожара. При этом возможно два варианта при формировании таких алгоритмов контроля:

- алгоритмы, основанные на использовании результатов измерений динамических характеристик пожара в априори заданном диапазоне времени или частоты;
- алгоритмы, основанные на использовании результатов измерений динамических характеристик пожара при априори заданных значениях времени или частоты.

В первом случае при использовании динамической характеристики в виде переходной функции (2) экспериментальным путем определяется переходная функция $H_y(t)$ на интервале времени $t \in [0, t_{уст}]$, где $t_{уст}$ – время достижения установившегося значения. Результат контроля определяется с использованием критерия

$$|H(t) - H_y(t)| \leq \xi_1, \\ t \in [0, t_{уст}] \quad (8)$$

где ξ_1 – априори заданное малое число.

При использовании выражений (5) или (6) для формирования алгоритмов контроля возникает необходимость в определении экспериментальным путем частотных характеристик $A_y(\omega)$ и $\varphi_y(\omega)$. Следует отметить, что наибольшее распространение среди экспериментальных методов определения частотных характеристик объектов получили методы, основанные на использовании синусоидальных тест-воздействий, тест-воздействий, аппроксимирующих синусоидальные или полигармонические тест-воздействия [5]. Такие методы определения частотных характеристик объектов обладают рядом недостатков, к которым относятся:

- сложность оборудования для проведения измерений на низких и особенно на инфранизких частотах;

- большое время измерений;
 - необходимость в преобразовании сигналов;
 - большое количество оборудования;
 - условия измерения и параметры исследуемого объекта претерпевают изменения за время наблюдения.

Последнее обстоятельство является весьма существенным сдерживающим фактором при выборе экспериментального метода идентификации частотных характеристик пожара класса В.

В [6] и в [7] предложены методы идентификации частотных характеристик пожара класса В при его тушении распыленной водой, в основе которых лежит использование переходной функции $H_s(t)$, определенной экспериментальным путем. Эти методы свободны от большинства недостатков, имеющих место при использовании традиционных подходов. Согласно [7] частотные характеристики пожара класса В описываются выражениями

$$A_s(\omega) = [I(T_k - T_0)]^{-1} [1 + (\omega \gamma t_0)^2]^{0,5} \times \\ \times \left[\left(\sum_{k=0}^n \Delta T_k \cos[\omega(k + 0,5)\Delta t] \right)^2 + \left(\sum_{k=0}^n \Delta T_k \sin[\omega(k + 0,5)\Delta t] \right)^2 \right]^{0,5}; \quad (9)$$

$$\varphi_s(\omega) = -\text{arctg} \left[\frac{\sum_{k=0}^n \Delta T_k [\gamma \sin[\omega(k + 0,5)\Delta t] - \omega t_0 \cos[\omega(k + 0,5)\Delta t]]}{\sum_{k=0}^n \Delta T_k [\gamma \cos[\omega(k + 0,5)\Delta t] + \omega t_0 \sin[\omega(k + 0,5)\Delta t]]} \right]; \quad (10)$$

где ΔT_k – величина снижения температуры поверхности горячей жидкости между k -м и $k+1$ -м измерениями; Δt – интервал времени между измерениями температуры; t_0 – время достижения интенсивности подачи распыленной воды в очаг горения установившегося значения; γ – число, причем $\gamma = 4,0$.

Следует отметить, что такой метод определения частотных характеристик пожара класса В учитывает инерционные свойства системы автоматического пожаротушения.

Результат контроля модельного очага пожара класса В с использованием частотных характеристик определяется в соответствии с критериями

$$|A(\omega) - A_s(\omega)| \leq \xi_2; \quad (11)$$

$$|\varphi(\omega) - \varphi_s(\omega)| \leq \xi_3, \quad (12)$$

где ξ_2 и ξ_3 – априори заданные малые числа; $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ определяются

соответственно выражениями (5) и (6), а $A_s(\omega)$ и $\varphi_s(\omega)$ – выражениями (9) и (10).

Смысл критериев (8), (11) и (12) заключается в том, что при их выполнении с погрешностью, определяемой значениями параметров ξ_i ($i = \overline{1,3}$), модельный очаг пожара класса В при его тушении распыленной водой обладает динамическими свойствами, которые описываются моделями (1), (2), (4) ÷ (7).

Алгоритмы контроля модельного очага пожара класса В различаются используемыми критериями. Если используется критерий (8), то алгоритм контроля сводится к следующим процедурам:

- формирование модельного очага пожара класса В;
- подача в очаг горения распыленной воды постоянной интенсивности;
- регистрация температуры поверхности горячей жидкости во времени, что соответствует определению переходной функции $H_s(t)$.

При использовании критериев (11) и (или) (12) алгоритм контроля реализуется с использованием процедур:

- формирование модельного очага пожара;
- подача в очаг горения распыленной воды от системы автоматического пожаротушения;
- измерение температуры поверхности горячей жидкости через интервал времени Δt ;
- определение разности температур ΔT_k поверхности горячей жидкости между $k - m$ и $k + 1 - m$ измерениями;
- измерение времени достижения интенсивности подачи распыленной воды в очаг горения установившегося значения.

Следует отметить, что такой подход к контролю модельных очагов пожара класса В, основанный на использовании их динамических характеристик как во временной, так и в частотной областях, открывает новые возможности при разработке алгоритмов контроля систем автоматического пожаротушения.

Выводы. Показано, что контроль модельных очагов пожара класса В может быть осуществлен при реализации алгоритмов, в основе которых лежит идентификация переходной функции модельного очага пожара, которая определяется экспериментальным путем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долговидов А.В. Автоматические установки порошкового пожаротушения / А.В. Долговидов, В.В. Теретнев. – М.:Пожнаука, 2008. – 322 с.
2. Абрамов Ю. Модели и характеристики процесса тушения пожаров класса В / Ю. Абрамов, А. Басманов. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 185 p.

3. Корн Г. Справочник по математике / Г.Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1968. – 720 с.

4. Тищенко Е.А. Динамические характеристики пожара класса В при тушении распыленной водой / Е.А. Тищенко, Ю.А. Абрамов // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2017. – Вып. 41. – С. 177–184.

5. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов / А.М. Дейч. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.

6. Пат. 109862 Україна, МПК G01N 33/00, A62C 99/00. Спосіб визначення динамічних характеристик пожежі класу В / Абрамов Ю.О., Тищенко Є.О., Собина В.О.; власник Національний університет цивільного захисту України. – №201602815. заявл. 21.03.2016; опубл. 12.09.2016, Бюл. № 17.

7. Пат. 123566 Україна, МПК G01F 1/20, A62C 37/00, G05D 23/13. Спосіб визначення динамічних характеристик пожежі класу В / Абрамов Ю.О., Тищенко Е.О., Собина В.О.; власник Національний університет цивільного захисту України. – № 201710848; заявл. 6.11.2017; опубл. 26.02.2017, Бюл. № 4.

Отримано редколегією 14.03.2019

Є.О. Тищенко

Алгоритми контролю характеристик модельних вогнищ пожежі класу В

Розроблені алгоритми контролю стосовно до модельних вогнищ пожежі класу В, гасіння яких здійснюється розпиленою водою. В основі таких алгоритмів лежить використання перехідної функції пожежі, яка визначається експериментально.

Ключові слова: модельні вогнища пожежі, динамічні характеристики пожежі, алгоритм контролю.

E. Tischenko

Algorithm for controlling the characteristics of model class B fire sites

Algorithm for controlling the characteristics of model class B fire sites, which are extinguished by spray water are developed. The basis of such algorithms is the use of a transitional fire function, which is determined experimentally.

Keywords: dynamic fire characteristics, control algorithm, model fire sites.