

Ю.А. Абрамов, д.т.н., гл. научн. сотр., НУГЗУ,
В.М. Гвоздь, к.т.н., доцент, нач. У ГСЧСУ в Черкасской обл.,
А.М. Тищенко, к.т.н., нач. кафедры, ЧАПБ им. Героев Чернобыля

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ СВОЙСТВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ КЛАССА В РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ НА ВРЕМЯ ИХ ТУШЕНИЯ

Получены априорные оценки для времени тушения пожаров класса В распыленной водой с учетом инерционных свойств систем пожаротушения.

Ключевые слова: распыленная вода, инерционность, время тушения.

Постановка проблемы. Одним из наиболее эффективных направлений при тушении пожаров класса В является использование распыленной воды [1], которое реализуется с помощью систем автоматического пожаротушения. Основной проблемой при создании таких систем является получение априорных оценок, отражающих качество процесса тушения.

Анализ последних исследований и публикаций. В подавляющем большинстве случаев качество тушения пожара класса В распыленной водой определяется зависимостью времени тушения от интенсивности подачи воды. Как правило, такая зависимость определяется экспериментально [2]. Известны публикации, в которых на основании [3] теоретическим путем получена зависимость для оценки времени тушения пожара класса В распыленной водой [4]. Однако эта зависимость носит иллюстративный характер и не используется на практике. В [5] получено аналитическое выражение для оценки времени тушения пожара класса В распыленной водой в зависимости от ее интенсивности. Однако это выражение отражает потенциальные возможности системы автоматического пожаротушения, т.к. не учитывает ее инерционные свойства.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является получение априорных оценок времени тушения пожара класса В распыленной водой с учетом инерционных свойств системы автоматического пожаротушения.

Процесс тушения пожара класса В распыленной водой в терминах технической кибернетики может быть отражен в виде структурно-динамической схемы, приведенной на рис. 1 [1], где введены обозначения: T_k – температура кипения жидкости; T_0 – температура окружающей среды; $T(t)$ – температура поверхности горящей жидкости;

$I_0(t)$ – интенсивность подачи распыленной воды; ОУ – объект управления; $W(p)$ – передаточная функция объекта управления, определяемая выражением

$$W(p) = \frac{\theta(p)}{I_0(p)} = \frac{arK}{\lambda v(T_k - T_0)} (0,5 + (p + 0,25)^{0,5})^{-1}, \quad (1)$$

где a – коэффициент температуропроводности жидкости; r – теплота испарения воды; λ – теплопроводность жидкости; v – линейная скорость выгорания жидкости; K – коэффициент использования воды;

$$\theta(p) = L[\theta(t)] = L[(T_k - T(t))(T_k - T_0)^{-1}]; \quad (2)$$

L – оператор интегрального преобразования Лапласа.

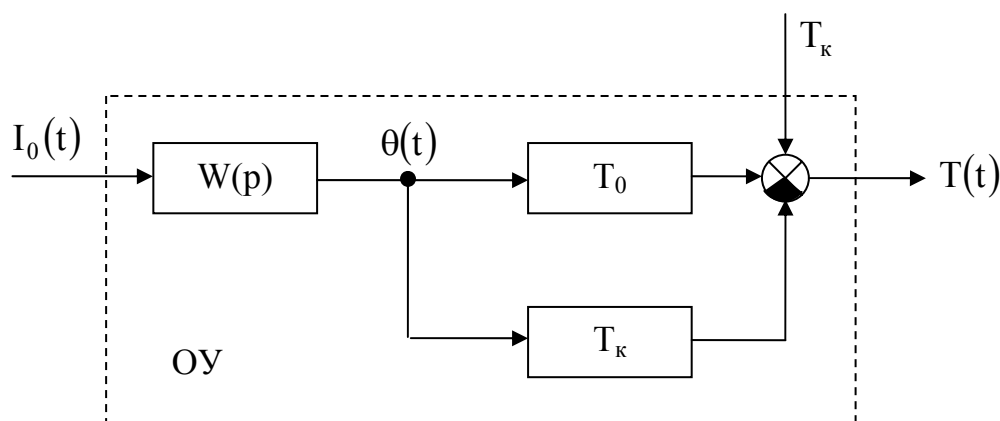


Рис. 1 – Структурно-динамическая схема процесса тушения

Время тушения пожара класса В распыленной водой определяется уравнением

$$T(t_T) - T_T = 0, \quad (3)$$

где T_T , t_T – температура тушения и время тушения соответственно.

При определении времени тушения t_T обычно полагают, что $I_0 = \text{const}$. Тогда с учетом (1) и (2) уравнение (3) принимает вид

$$T_k - T_T - I_0(T_k - T_0)L^{-1}[p^{-1}W(p)]_{t=t_T} = 0, \quad (4)$$

где L^{-1} – оператор обратного преобразования Лапласа.

На рис. 2 приведена графическая интерпретация решения уравнения (4) применительно к горючей жидкости в виде дизельного топлива.

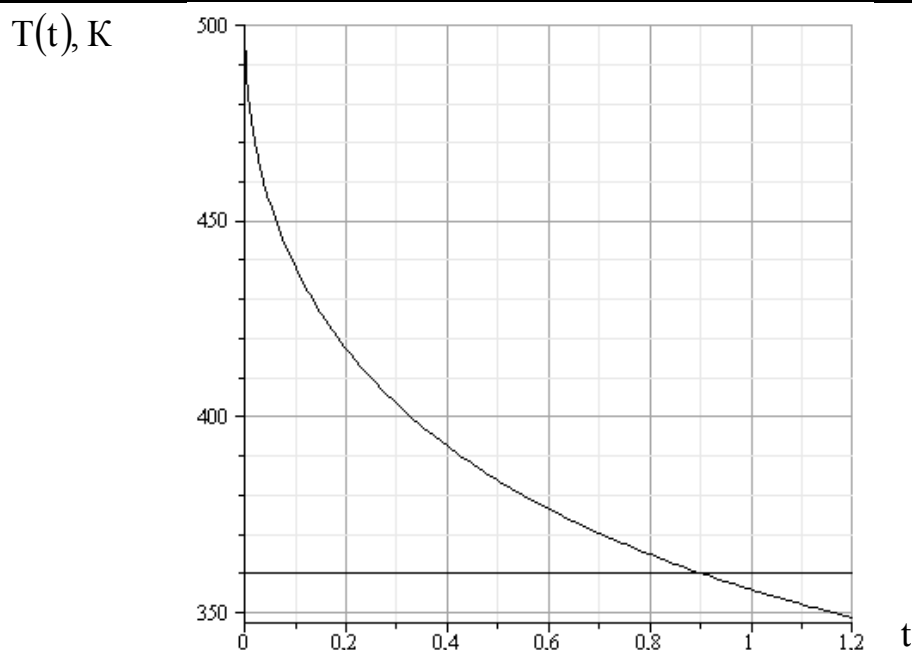


Рис. 2 – Графическая интерпретация решения уравнения (4)

Графическая зависимость соответствует случаю, когда имеет место тушение дизельного топлива с площадью горения $4\pi \text{ м}^2$ с интенсивностью подачи распыленной воды $I_0 = 0,1 \text{ кг}(\text{м}^2 \text{ с})^{-1}$. В этом случае безразмерная величина времени тушения составляет 0,9. При этом необходимо подчеркнуть, что распыленная вода подается в очаг горения с помощью безынерционных средств.

Оценим влияние инерционных свойств системы автоматического пожаротушения применительно к тушению пожара класса В распыленной водой. С этой целью введем в рассмотрение обобщенную постоянную времени τ такой системы управления, которая интегрально учитывает ее инерционные свойства.

Входной сигнал (см. рис. 1) объекта управления системы пожаротушения в этом случае можно представить следующим образом

$$I_0(t) = I_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right), \quad (5)$$

а уравнение для определения времени тушения t_T будет иметь вид

$$T_K - T_T - I_0(T_K - T_0)L^{-1} \left[(p(\tau p + 1))^{-1} W(p) \right]_{t=t_T} = 0. \quad (6)$$

Выражение в квадратных скобках после применения к нему оператора L^{-1} имеет вид

$$q = \frac{\text{arK}}{\lambda v(T_k - T_0)} \left[1 + 0,56\sqrt{t} \exp(-0,25t) - \frac{2 \exp(-t/\tau) \text{erf}\left(0,5\sqrt{(1-4/\tau)t}\right)}{\sqrt{1-4/\tau}} + \right. \\ \left. + \frac{1}{\tau-4} \left(0,5 \left(4 - \tau \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4}{\tau}} \text{erf}\left(0,5\sqrt{\left(1 - \frac{4}{\tau}\right)t}\right)\right) \right) \right) \tau \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) - \right. \\ \left. - 0,5 \text{erfc}\left(0,5\sqrt{t}\right) (2 - \tau + t) \right]. \quad (7)$$

На рис. 3 приведена графическая зависимость для выражения, стоящего в квадратных скобках (7), т.е. для

$$\bar{q} = \frac{\lambda v(T_k - T_0)}{\text{arK}} q. \quad (8)$$

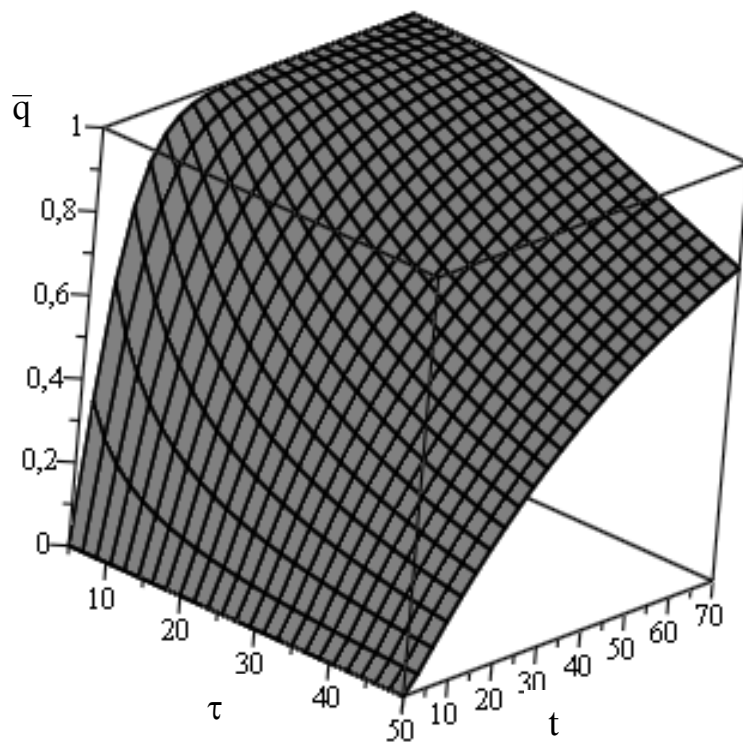


Рис. 3 – График зависимости (8)

Следует отметить, что зависимость, приведенная на рис. 3, является универсальной, т.е. она справедлива для любой горючей жидкости. Использование этой зависимости совместно с (6) позволяет графическим путем получать априорные оценки времени тушения пожара класса В распыленной водой применительно для конкретной горючей жидкости и заданной величины обобщенного параметра, учитывающего инерционные свойства системы пожаротушения. На рис. 4 приведен пример решения уравнения (6) для горючей жидкости в виде дизельного топлива с использованием графического алгоритма.

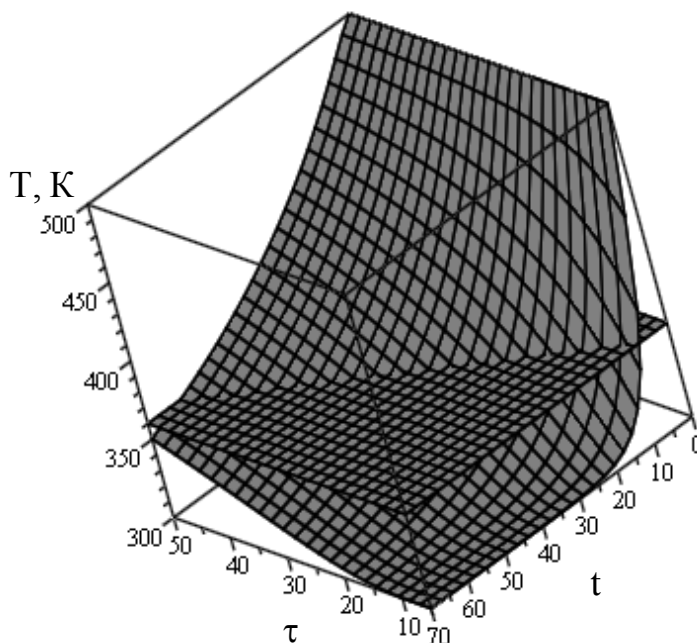


Рис. 4 – К определению времени тушения горящего дизельного топлива распыленной водой

Анализ рис. 2 и рис. 4 свидетельствует о том, что инерционность системы пожаротушения, которая учитывается путем введения обобщенной постоянной времени приводит к затягиванию процесса тушения пожара. При этом величина времени тушения в рассмотренном примере возрастает практически линейно при увеличении величины обобщенной постоянной времени системы пожаротушения. Из сравнения результатов решения уравнений (4) и (6) для горючей жидкости в виде дизельного топлива следует, что система пожаротушения распыленной водой, инерционность которой характеризуется обобщенной постоянной времени $\tau = 5$, обеспечивает тушение пожара примерно в 8 раз медленнее по сравнению с безынерционной системой. При $\tau = 20$ эта величина возрастает до тридцати раз.

Выводы. Получены математические модели, обеспечивающие учет инерционных свойств систем автоматического пожаротушения распыленной водой пожаров класса В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Садковой В.П. Теоретические основы автоматического тушения пожаров класса В распыленной водой / В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов. – Х.: НУГЗУ, 2010. – 267 с.
2. Rasbash D.J. The extinction of fires by water spray / D.J. Rasbash // Fire research abstract and reviews. – 1962. – Vol. 4. – N 1,2. – P.28-53.
3. Абдурагимов И.М. Перспективное огнетушащее средство для тушения пожаров ЛВЖ в резервуарах / И.М. Абдурагимов, Чан Ван

Тхао // Противопожарная техника и безопасность. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1981. – С. 86-94.

4. Кухто А.Н. Зависимость времени тушения от интенсивности подачи воды / А.Н. Кухто, Е.Н. Панин // Пожаротушение. – М.: ВНИИПО, 1984. – С. 84-93.

5. Абрамов Ю.А. Условия и временные характеристики тушения пожара класса В распыленной водой / Ю.А. Абрамов, С.Н. Бесараб, В.П. Садковой // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2011. – Вып. 30. – С. 3-7.

nuczu.edu.ua

Ю.О. Абрамов, В.М. Гвоздь, О.М. Тищенко

Оцінка впливу інерційних властивостей систем автоматичного гасіння пожеж класу в розпилену водою на час їх гасіння

Отримано апріорні оцінки для часу гасіння пожеж класу В розпиленою водою із врахуванням інерційних властивостей систем пожежогасіння.

Ключові слова: розпилена вода, інерційність, час гасіння.

Y.A. Abramov, V.M. Gvozd, A.M. Tischenko

Estimation of inertial properties of automatic systems for extinguishing fire class b by spray water

A priori estimates for extinguishing time of fire class B by spray water are built. They consider the inertial properties of fire-extinguishing systems.

Keywords: water spray, inertia, extinguishing time.