

*Ю.А. Абрамов, гл. научн. сотр., НУГЗУ*  
*В.П. Садковой, ректор, НУГЗУ,*

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЧЕСКОГО ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ КЛАССА В РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ**

Разработан вариант имитационной модели системы автоматического тушения пожаров класса В распыленной водой и приведен пример решения прикладной задачи с ее использованием.

**Ключевые слова:** система автоматического тушения, распыленная вода, имитационная модель.

**Постановка проблемы.** Системы автоматического пожаротушения (САП) имеют устойчивую тенденцию к их все большему использованию при решении задач по обеспечению пожарной безопасности объектов различного назначения. В последнее время заметно повысился интерес к САП пожаров класса В распыленной водой. В этой связи требует своего разрешения проблема, связанная с созданием и реализацией алгоритма синтеза оптимальных систем такого типа.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В общем виде алгоритм синтеза САП пожаров класса В распыленной водой может быть представлен в виде, который приведен в [1]. Важное место при создании таких систем занимает этап моделирования процессов, протекающих в них. Моделирование таких процессов предусматривает:

построение структурной схемы САП;

разработку математических моделей элементов структурной схемы САП;

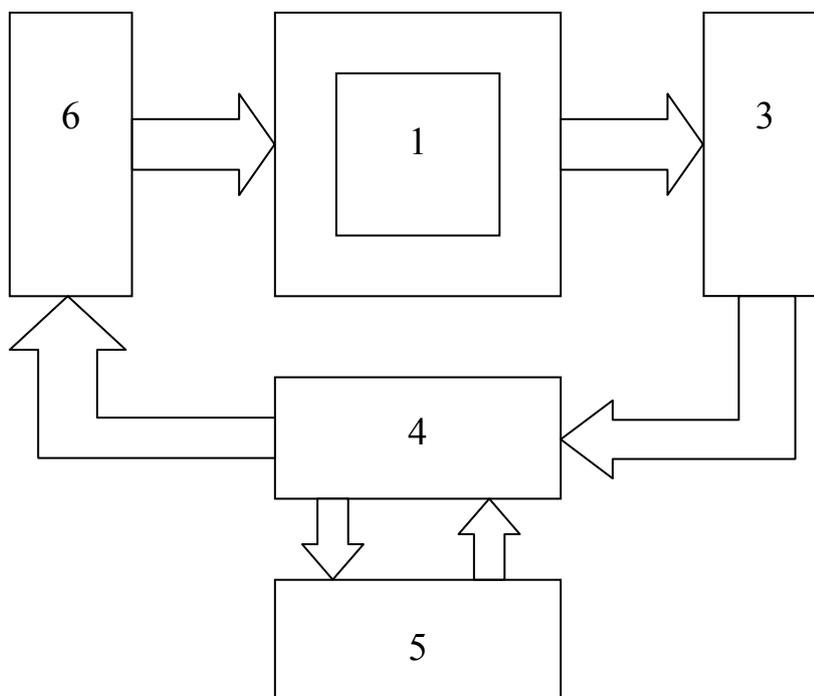
построение структурно-динамической схемы системы;

синтез имитационной модели системы, в частности, с использованием пакета визуального программирования Simulink.

Один из вариантов структурной схемы САП приведен в [2]. Математические модели некоторых элементов системы приведены в [3÷5], которые ориентированы на их представление в виде передаточных функций. Следует отметить, что данные о структурно-динамических схемах САП в литературе отсутствуют, а использование имитационных моделей, в частности, ориентированных на систему Simulink, известно лишь применительно к тепловым пожарным извещателям [6, 7].

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является построение имитационной модели САП пожаров класса В распыленной водой с последующей демонстрацией ее работы на примере решения прикладной задачи.

Структурная схема САП распыленной водой в общем виде приведена на рис. 1. При разработке математических моделей САП наибольшую трудность представляет разработка математических моделей объекта управления, т.е. горячей жидкости, которая подвержена воздействию на нее распыленной водой. В основе такой модели лежит использование одномерного нестационарного уравнения теплопроводности в подвижной системе координат, которое содержит аддитивную составляющую, учитывающую внутренние источники тепла [8].



**Рис. 1.** – Обобщенная структурная схема САП распыленной водой: 1 – объект управления; 2 – окружающая среда; 3 – подсистема обнаружения пожара; 4 – канал (линия) связи; 5 – устройство приема, переработки, управления и передачи информации; 6 – подсистема тушения пожара

В том случае, когда распределение температуры по глубине жидкости описывается уравнением Михельсона, температура поверхности горячей жидкости при ее охлаждении распыленной водой в безразмерной форме определяется выражением [9]

$$\begin{aligned} \theta_2(t_*) = & \frac{f(\omega + sg) - sd}{2f[s(s+1) - f]} \left[ (2s+1) \left[ 1 - \exp[[s(s+1) - f]t_*] \operatorname{erfc}[(s+0,5)\sqrt{t_*}] \right] - \right. \\ & \left. - (4f+1)^{0,5} \operatorname{erf} \left[ 0,5(4f+1)^{0,5} \sqrt{t_*} \right] \right] + \frac{d}{2f(s+1)} \exp(-ft_*) \times \\ & \times \left[ (2s+1) \left[ 1 - \exp[s(s+1)t_*] \operatorname{erfc}[(s+0,5)\sqrt{t_*}] \right] - \operatorname{erf}(0,5\sqrt{t_*}) \right] + \\ & + \frac{d}{f} [1 - \exp(-ft_*)], \end{aligned} \quad (1)$$

где  $d = h + fg$ ;  $f$ ,  $s$ ,  $h$ ,  $\omega$ ,  $g$  – интегральные параметры.

Для различных сочетаний интегральных параметров модели (1) получены упрощенные математические модели объекта управления САП, принадлежащие классу передаточных функций. Например, для случая, когда  $f = s = h = 0$ , передаточная функция объекта управления имеет вид

$$W_2(p) = 0,5\omega I_0^{-1} p^{-1} \left[ (2p+1)(4p+1)^{-0,5} - 1 \right], \quad (2)$$

где  $I_0$  – интенсивность подачи распыленной воды на выходе оросителя.

Математические модели элементов САП служат для построения ее структурно-динамической схемы, которая используется для создания имитационной модели системы. Пример имитационной модели системы для одного из вариантов САП распыленной водой, синтезированной с помощью пакета визуального программирования Simulink, приведен на рис. 2.

Такая имитационная модель использовалась для решения задачи в следующей постановке.

В соответствии с технологическим процессом возможно использование горючих жидкостей, для которых величина температуры кипения может варьироваться в диапазоне (500÷550) К. Определить величину этого параметра из условия минимума времени тушения горючей жидкости с помощью САП распыленной водой и обосновать требования к быстродействию тепловых пожарных извещателей этой системы.

Горючие жидкости имеют следующие параметры: плотность –  $750 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ; скорость выгорания –  $0,025 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ , коэффициент температуропроводности –  $1,5\cdot 10^{-7} \text{ м}^2\cdot\text{с}^{-1}$ ; температура вспышки – 360 К; теплота сгорания –  $10^7 \text{ Дж}\cdot\text{кг}^{-1}$ . Интенсивность подачи распыленной воды  $I_0 = 0,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ . Время запаздывания при подаче распыленной воды  $\sim 1,0 \text{ с}$ .

Коэффициент передачи и постоянная времени распылителей воды –  $5\cdot 10^{-7} \text{ с}\cdot\text{м}^{-1}$  и 0,2 с соответственно. Давление воды на входе основной гидромагистрали 0,2 МПа, длина основной и локальных гидромагистралей – 150 м и 50 м соответственно. Отношение объема помещения к площади пожара – 125 м.

Задача решалась с использованием теории планирования эксперимента. В качестве варьируемых переменных выбирались – постоянная времени тепловых пожарных извещателей  $X_1 = (20 \div 60) \text{ с}$  и разность между температурой кипения горючей жидкости и температурой окружающей среды  $X_2 = (200 \div 250) \text{ К}$ .

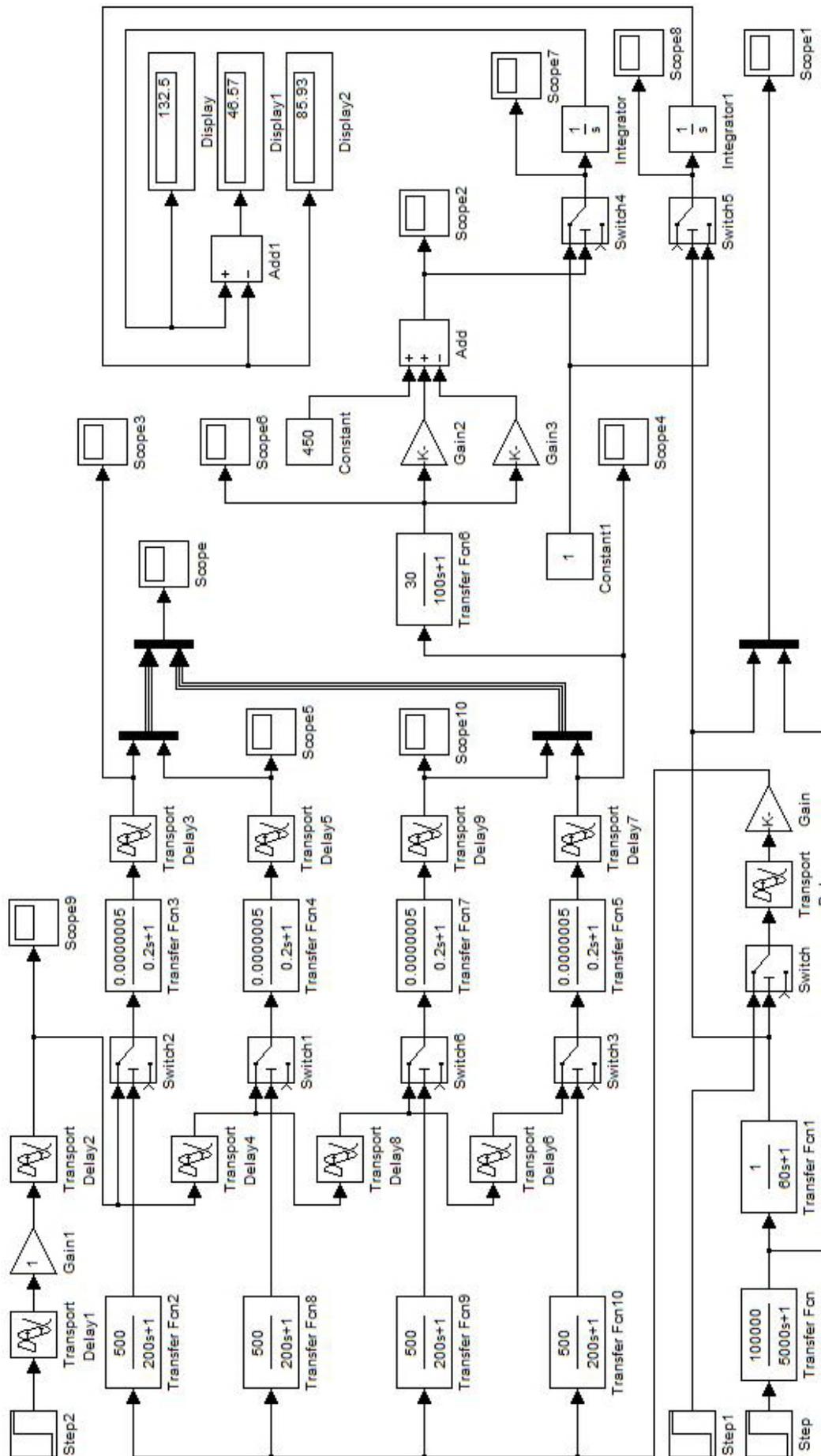


Рис. 2.- Имитационная модель САП распыленной водой

Для времени тушения  $t_T$  была получена регрессионная модель вида

$$t_T = 47,54 + 6,26x_2 + 4,1x_1^2 + 4,1x_2^2, \quad (3)$$

где  $x_i$  – кодированные переменные.

С использованием метода Филлипса было показано, что выражение (3) имеет минимум при  $X_1 = 40$  с и  $X_2 \cong 205$  К.

**Выводы.** Использование имитационной модели САП распыленной водой обеспечивает решение задачи параметрической оптимизации, в результате чего показано, что время ликвидации пожара класса В составляет порядка 125 с. Принимая во внимание, что среднеобъемная температура в помещении в начальной стадии пожара изменяется с квазипостоянной скоростью, величина которой составляет около  $0,5$  °C/с, чему в соответствии с ДСТУ EN54-5:2003 соответствует максимальное время срабатывания теплового пожарного извещателя, равное 100 с, то для такого извещателя величина постоянной времени должна составлять порядка 88 с. Использование пожарного извещателя с таким динамическим параметром в составе САП распыленной водой в рассматриваемом случае приведет к тому, что время ликвидации пожара будет составлять около 162 с, т.е. в 1,3 раза больше по сравнению с вариантом, полученным при использовании имитационной модели САП для обоснования величины динамического параметра извещателя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Садковой В.П. Синтез систем автоматического пожаротушения / В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов // Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практ. конф. – Черкаси: АПБ, 2006. – С. 36-38.
2. Садковой В.П. Идентификация математической модели автоматической системы ослабления последствий аварий на АЭС / В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов // Х.: УЦЗУ, Вип. 8 – 2008. – С. 182-189.
3. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Х.: ХПТУ, 1993. – 288 с.
4. Абрамов Ю.А. Точечные тепловые пожарные извещатели максимального типа / Ю.А. Абрамов, Е.В. Куренной. – Х.: АГЗУ, 2005. – 129 с.

5. Абрамов Ю.А. Математические модели гидромагистралей систем автоматического пожаротушения / Ю.А. Абрамов, В.П. Садковой // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 2006. – Вып. 72. – С. 336-343.

6. Абрамов Ю.А. Терморезистивные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы их температурных испытаний // Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь. – Х.: АГЗУ, 2005. – 121 с.

7. Абрамов Ю.А. Температурные объектовые испытания тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом / Ю.А. Абрамов, В.В. Коврегин, В.П. Садковой. – Х.: УГЗУ, 2009. – 115 с.

8. Садковой В.П. Интегральные параметры и характеристики горячей жидкости как объекта управления системы автоматического пожаротушения / В.П. Садковой, Ю. А. Абрамов // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ, 2008. – Вып. 24. – С. 160-164.

9. Садковой В.П. Модели объектов управления системы автоматического пожаротушения при использовании распыленной воды // В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ, 2008. – Вып. 23. – С. 156-163.

nuczu.edu.ua

Ю.О. Абрамов, В.П. Садковий

**Імітаційне моделювання процесу автоматичного гасіння пожеж класу в розпилену водою.**

Розроблено варіант імітаційної моделі системи автоматичного гасіння пожеж класу В розпилену водою і наведено приклад розв'язання прикладної задачі з її використанням.

**Ключові слова:** система автоматичного гасіння, розпилена вода, імітаційна модель.

Yu.O. Abramov, V.P. Sadkovoy

**Simulation process of automatic fire extinguishing class sputtered water.**

A variant of the simulation model of the automatic fire extinguishing Class B and atomized water is an example of applied problem solving using it.

**Keywords:** automatic fire, atomized water simulation model.