

2. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справочник. Ч.2 / Под ред. С. Кальверта и Г.М. Ингульда (русск. пер.). – М.: Металлургия, 1988. – 476 с.
3. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
4. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примесей. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 280 с.
5. Найденов А.В. Высота теплового подъема дымовой струи от наземного источника // Труды ИЭМ.- 1987.- Вып.10(131).- С. 90-98.
6. Орленко Л.Р. Строение планетарного пограничного слоя атмосферы. – Л.: Госкомгидромет, 1979. – 272 с.
7. Прохач Э.Е., Михальская Л.Л., Попов Н.П. Расчет рассеяния примесей в атмосфере на основе измерений локальных метеорологических параметров // Информатика. Вып. 7. – Харьков: НАН Украины, Институт проблем моделирования в энергетике, 1999. – С. 126-130.
8. Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха / Под ред. М.Е. Берлянда. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 163 с.

## УДК 614.8

*Садковой В.П., канд. психол. наук, ректор, УГЗУ*

### **ВЫБОР МОДЕЛИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Решена задача идентификации математической модели объекта управления в системе ослабления последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера

**Постановка проблемы.** Среди чрезвычайных ситуаций техногенного характера большое место занимают пожары [1]. В этой связи можно выделить две проблемы: снижение риска возникновения такой чрезвычайной ситуации до минимально воз-

возможного уровня и минимизация ущерба при возникновении такой чрезвычайной ситуации. Решение второй проблемы связано с использованием систем ослабления последствий чрезвычайных ситуаций [2], к числу которых относятся и системы автоматического пожаротушения (САП).

**Анализ последних исследований и публикаций.** Общий подход к синтезу САП рассмотрен в [3, 4]. Однако к числу основных новаций в этой отрасли следует отнести лишь использование более современного инструментария при создании таких систем.

Новые возможности на пути повышения эффективности САП открываются при реализации принципиально других принципов их построения [5]. Вполне естественно, что в этой связи резко возрастают акценты по отношению к математическому обеспечению процедуры синтеза систем такого типа [6]. В [7] решена задача идентификации математической модели всей САП как системы ослабления последствий аварий на АЭС, обусловленных пожаром. Важное место в этой модели занимает модель объекта управления, причем особо следует отметить, что эта модель является многопараметрической, а процедура ее построения сопряжена с весьма серьезными трудностями [8].

В [8] на одном из примеров показано, что модель такого типа включает комбинацию весьма специфических функций, которые серьезно затрудняют ее использование на практике.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является получение математической модели объекта управления системы ослабления последствий пожара применительно к случаю, когда имеет место горение жидкости в помещении при условии, что ее тушение осуществляется мелкораспыленной водой. В качестве ограничений используется: модель должна быть адаптирована для алгоритмов синтеза САП в терминах систем автоматического управления, процесс тушения является простейшим, т.е. он реализуется только за счет испарения капель воды на поверхности жидкости, а их проникновение в горящую жидкость отсутствует.

В этом случае процессы в объекте управления будут описываться уравнением вида

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \frac{\partial \theta}{\partial z}, \quad (1)$$

а начальные и граничные условия представим следующим образом

$$\theta(z,0) = 0; \left. \frac{\partial \theta}{\partial z} \right|_{z=0} = -\frac{IraK}{\lambda V(T_L - T_0)}; \theta|_{z=\infty} = 0, \quad (2)$$

где  $I$  – интенсивность орошения водой,  $r$  – теплота испарения воды,  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $V$  – линейная скорость распространения пламени,  $T_L$ ,  $T_0$  – температура кипения жидкости и окружающей среды,  $K$  – коэффициент использования воды.

Безразмерные параметры  $\tau$ ,  $z$  и  $\theta$  связаны с размерными параметрами  $t$ ,  $x$  и  $T$  следующими соотношениями

$$\tau = V^2 a^{-1} t, \quad z = Va^{-1} x, \quad \theta = (T_L - T)(T_L - T_0)^{-1}. \quad (3)$$

Используя подстановку

$$\theta(z, \tau) = W(z, \tau) \exp(-0,5z - 0,25\tau), \quad (4)$$

уравнение (1) и условия (2) можно переписать в виде

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 W}{\partial z^2}; \quad (5)$$

$$W(z,0) = 0; \left. \frac{\partial W}{\partial z} \right|_{z=0} = 0,5W(0, \tau) - \frac{IraK}{\lambda V(T_L - T_0)} \exp(0,25\tau); W|_{z=\infty} = 0. \quad (6)$$

После решения уравнения (5) с условиями (6) и последующего учета (4) решение уравнения (1) будет иметь вид

$$\begin{aligned} \theta(z, \tau) = & \frac{IraK}{\lambda V(T_L - T_0)} \exp(-0,5z) \int_0^\tau \left[ (\pi\xi)^{-0,5} \exp\left(-\frac{z^2}{4\xi}\right) - \right. \\ & \left. - 0,5 \exp(0,5z + 0,25\xi) \operatorname{erfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{\xi}} + \frac{\sqrt{\xi}}{2}\right) \right] \exp(-0,25\xi) d\xi. \end{aligned} \quad (7)$$

Это выражение представляет собой математическую модель объекта управления САП, определяющую зависимость температуры горячей жидкости во времени и по ее глубине в условиях ее

тушения мелкораспыленной водой постоянной интенсивности для случая, когда коэффициент ее использования является постоянной величиной.

Для поверхности жидкости  $z = 0$ . Тогда модель (7) трансформируется следующим образом

$$\theta(\tau) = \frac{IraK}{\lambda V(T_L - T_0)} \left[ 1 + \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \exp(-0,25\tau) - (1 + 0,5\tau) \operatorname{erfc}(0,5\sqrt{\tau}) \right]. \quad (8)$$

Использование модели объекта управления в таком виде для синтеза САП не позволяет распространить на них такие апробированные методы как методы нелинейного программирования, моментов, порождающих функций и др. Это обстоятельство обусловлено тем, что все эти методы предполагают представление изображения по Лапласу функции  $\theta(z, \tau)$  в виде дробно-рациональной функции. Из (8) следует, что это не является возможным.

В этой связи возникает необходимость в решении задачи идентификации математической модели объекта управления САП в классе функций, обеспечивающих их представление по Лапласу в виде дробно-рациональных функций.

В качестве такой функции выберем функцию вида

$$\theta_0(\tau) = \frac{IraK}{kV(T_L - T_0)} [1 - \exp(-b\tau)], \quad (9)$$

где параметр  $b$  подлежит идентификации.

В качестве целевой функции наиболее часто используется [9]

$$J = \int_0^{\infty} [\theta_0(\tau) - \theta(\tau)]^2 d\tau, \quad (10)$$

минимальное или допустимое значения которой определяют величину искомого параметра  $b$ .

Однако и на этом этапе использование модели (8) приводит к трудностям вычислительного характера. Для разрешения этих трудностей в модели (8) составляющие  $\exp(-0,25\tau)$  и  $\operatorname{erfc}(0,5\sqrt{\tau})$  заменялись усеченными степенными рядами, включающими по

пять членов этих рядов, а верхний предел интегрирования в (10) заменялся на конечное значение, равное 3,3. Последнее обстоятельство обусловлено тем, что при  $\tau = 3,3$  функция  $\theta(\tau)$  отличается от своего установившегося значения не более, чем на 7,0%. Такой подход приводит к тому, что целевая функция достигает своего минимального значения при  $b = 1,3875$ .

Следует заметить, что использование усеченных степенных рядов для аппроксимации функции (8) с числом членов рядов, равных пяти, обуславливает появление методической погрешности, которая не превышает 0,5%, вследствие чего для задач рассматриваемого типа эту составляющую погрешности можно не учитывать.

На рис. 1 приведены графики зависимостей (8) и (9) (в зависимости (9)  $b = 1,3875$ ) с точностью до масштабного множителя  $IraK(\lambda V(T_L - T_0))^{-1}$ .

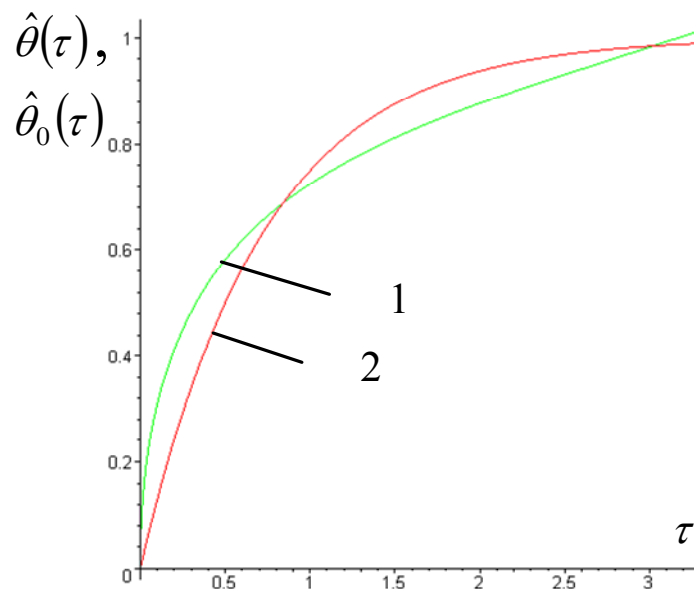


Рис. 1 – Графики относительных зависимостей (8) и (9): 1 – отн. зависимость (8); 2 – отн. зависимость (9)

Анализ этих зависимостей свидетельствует о достаточно хорошей адекватности модели (9). Максимальное значение погрешности несовпадения между моделями (8) и (9) не превышает 18,0%.

**Выводы.** Применительно к системе ослабления последствий чрезвычайных ситуаций на примере САП решена задача иденти-

фикации математической модели ее объекта управления. Задача решена в классе моделей, обеспечивающих их представление по Лапласу в виде дробно-рациональных функций, что открывает возможность для синтеза САП с использованием методов теории автоматического управления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А., Росоха В.Е., Тютюник В.В. и др. Основы мониторинга и управления в условиях чрезвычайных ситуаций. – Харьков: АГЗУ, 2005. – 257 с.
2. INSAG-12. Basis safety principles for nuclear power plans // 75-INSAG-3 Rev. 1. IAEA. – Viena, 1999.
3. Котов А.Г. Пожаротушение и системы безопасности. – Киев: Рондо-Графика, 2003. – 270 с.
4. Пожаротушение. Программные комплексы систем автоматического водяного, пенного, аэрозольного и газового пожаротушения. Методические указания. – Харьков: АГЗУ, 2004. – 114 с.
5. Садковой В.П., Абрамов Ю.А. Концептуальные основы построения систем автоматического пожаротушения // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновация. – Матер. межд. НПК. – Гомель: МЧС РБ, 2006. – с. 185-186.
6. Абрамов Ю.А., Садковой В.П. Алгоритм синтеза систем автоматического пожаротушения // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2006. – Вип. 36. – С. 199-202.
7. Садковой В.П., Абрамов Ю.А. Идентификация математической модели автоматической системы ослабления последствий аварий на АЭС // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: УЦЗУ, 2007. – Вип. 5. – С. 182-189.
8. Абрамов Ю.А., Садковой В.П. Математические модели объекта управления системы водяного автоматического пожаротушения // Коммунальное хозяйство городов. – Київ: Техніка, 2007. – Вип. 74. – С. 413-419.
9. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики. – Харьков: ХИПБ, 1993. – 288 с.