

*Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., НУГЗУ,
Гвоздь В.М., канд. техн. наук, нач. ТУМЧС в Черкасской обл.*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Получена приближенная математическая модель объекта управления системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций, принадлежащая классу дробно-рациональных функций комплексного аргумента

Ключевые слова: датчик первичной информации, опасный фактор чрезвычайной ситуации, диагностический алгоритм

Постановка проблемы. Пожар является одной из разновидностей чрезвычайной ситуации техногенного характера [1]. В этой связи имеет место проблема, связанная с минимизацией ущерба при возникновении такой чрезвычайной ситуации, решение которой связано с использованием системы ослабления последствий [2]. К системам такого типа относятся и системы автоматического пожаротушения (САП).

Анализ последних исследований и публикаций. Подход к построению САП рассмотрен в [3, 4], однако к числу основных новаций в этом случае можно отнести лишь использование более современного инструментария. Более широкие возможности на пути повышения эффективности систем ослабления последствий чрезвычайных ситуаций открываются при реализации принципиально других принципов их построения [5]. Следует заметить, что в этой связи возрастает роль математического обеспечения при создании таких систем [6, 7]. Важное место в этой процедуре занимает синтез математической модели объекта управления, которая является многопараметрической и представляет собой комбинацию весьма специфических функций [8], которые затрудняют использование такой модели на практике. В [9] получена модель объекта управления системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций на примере САП применительно к пожару класса В, тушение которого осуществляется распыленной водой. Адекватность такой модели оценивается погрешностью в 18%. В [10] при-

Математическая модель объекта управления системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций

ведены алгоритм получения универсальной математической модели объекта управления САП – передаточной функции, однако она получена в виде иррациональной функции комплексной переменной.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является построение математической модели объекта управления системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций на примере САП применительно к пожару класса В при его тушении распыленной водой, которая принадлежит классу дробно-рациональных функций.

В первом приближении процессы, протекающие в объекте управления, описываются уравнением [10]

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

с начальными и граничными условиями

$$\theta(\xi, 0) = 0; \quad \frac{\partial \theta(0, \tau)}{\partial \xi} = -\frac{arK}{\lambda v(T_{\kappa} - T_0)} I(\tau), \quad (2)$$

где

$$\tau = v^2 a^{-1} t; \quad \xi = v a^{-1} z; \quad \theta = (T_{\kappa} - T)(T_{\kappa} - T_0)^{-1}, \quad (3)$$

$T(z, t)$ – температура горючей жидкости; T_{κ} – температура кипения горючей жидкости; T_0 – температура окружающей среды; a – коэффициент температуропроводности; v – линейная скорость горения жидкости; λ – теплопроводность горючей жидкости; r – теплота испарения воды; K – коэффициент использования воды; $I(\tau)$ – интенсивность подачи распыленной воды.

Применяя к (1) и (2) интегральное преобразование Лапласа, получим выражение для передаточной функции объекта управления (для поверхности горючей жидкости)

$$W_2(p) = \frac{\theta(0, p)}{I(p)} = \frac{arK}{\lambda v(T_{\kappa} - T_0)} \left[0,5 + (p + 0,25)^{0,5} \right]^{-1}. \quad (3)$$

Эта передаточная функция представляет собой иррациональную функцию комплексного аргумента p и ее использование при решении инженерных задач связано с преодолением достаточно серьезных трудностей.

Для синтеза передаточной функции объекта управления, принадлежащей классу дробно-рациональных функций комплексного аргумента p , воспользуемся алгоритмом, приведенным в [10]. С этой целью получим выражение для переходной функции с использованием (3) [11], т.е.

$$\begin{aligned} \theta_2(\tau) &= L^{-1} \left[\frac{arKI}{\lambda v(T_\kappa - T_0)} \left[\left(0,5 + (p + 0,25)^{0,5} \right) p \right]^{-1} \right] = \\ &= \frac{arKI}{\lambda v(T_\kappa - T_0)} \left[1 + \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \exp(-0,25\tau) - (1 + 0,5\tau) \operatorname{erfc}(0,5\sqrt{\tau}) \right], \end{aligned} \quad (4)$$

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

В этом выражении $I = \text{const}$.

С использованием пакета Maple 13 выражение (4) может быть аппроксимировано функцией

$$\begin{aligned} \theta_{21}(\tau) &= \frac{arKI}{\lambda v(T_\kappa - T_0)} \left[1 - \sum_{i=1}^3 a_i \exp(-b_i\tau) \right]; \\ \sum_{i=1}^3 a_i &= 1, \end{aligned} \quad (5)$$

где a_i, b_i – параметры аппроксимации, значения которых приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения параметров аппроксимации

i	a_i	b_i
1	0,23	0,38
2	0,47	1,36
3	0,30	21,56

На рис. 1 приведен график погрешности рассогласования между функциями (4) и (5) (кривая 1), из которого следует, что максимальное значение этой погрешности не превышает 4,5%. Следует заметить, что в [9] аппроксимация осуществлялась для случая (5) при $i = 1$, что обуславливало погрешность рассогласования до 18% (см. рис. 1, кривая 2).

Выражение (5) позволяет определить передаточную функцию в терминах [10] следующим образом

$$W_4(p) = L \left[\frac{d\theta_{21}(\tau)}{d\tau} \right], \quad (6)$$

где L – оператор интегрального преобразования Лапласа.

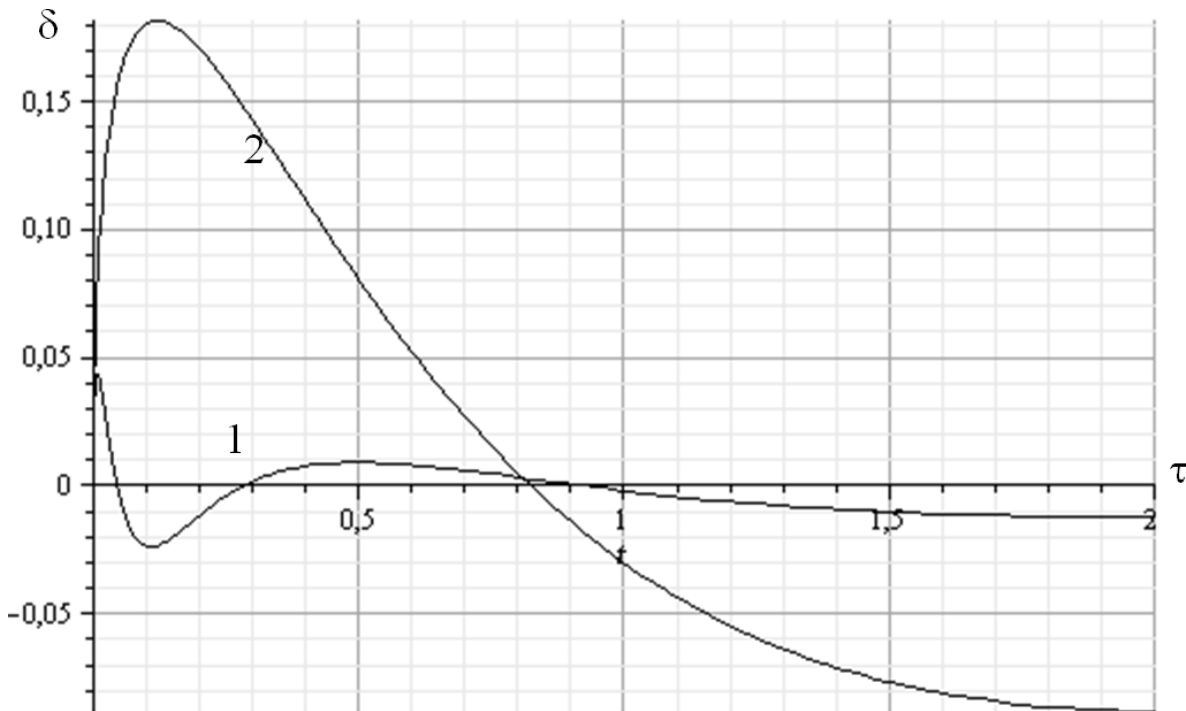


Рис. 1 – Погрешности рассогласования

Применяя оператор L к выражению (5), получим [11]

$$W_4(p) = \frac{arK}{\lambda v(T_\kappa - T_0)} \left[1 + \sum_{i=1}^2 c_i p^i \right] \left[1 + \sum_{m=1}^3 d_m p^m \right]^{-1}, \quad (7)$$

где c_i , d_m – параметри, значення для яких приведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Значення параметрів передаточної функції

i	m	c_i	d_m
1		2,45	
2		0,65	
	1		3,42
	2		2,11
	3		0,097

Вследствие того, что передаточная функция объекта управления (7), получена с использованием модели (5), для которой погрешность рассогласования с моделью (4) не превышает 4,5%, то можно утверждать, что погрешность рассогласования между моделями (3) и (7) не будет превышать 4,5%.

Выводы. Получена математическая модель объекта управления системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций на примере САП, принадлежащая классу дробно-рациональных функций комплексного аргумента, в основе построения которой лежит результат аппроксимации переходной функции этого объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Основы мониторинга и управления в условиях чрезвычайных ситуаций / Ю.А. Абрамов, В.Е. Росоха, В.В. Тютюник и др. – Харьков: АГЗУ, 2005. – 257 с.
2. INSAG-12. Basis safety principles for nuclear power plants // 75-INSAG-J Rev. 1. IAEA. – Viena, 1999.
3. Котов А.Г. Пожаротушение и системы безопасности / А.Г. Котов. – 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. Концептуальные основы построения систем автоматического пожаротушения / В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов

- // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации. – Гомель, МЧС РБ, 2006. – С. 185-186.
6. Абрамов Ю.А. Алгоритм синтеза систем автоматического пожаротушения // Ю.А. Абрамов, В.П. Садковой // Научный вестник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2006. – Вип. 36. – С. 199-202.
 7. Садковой В.П. Идентификация математической модели автоматической системы ослабления последствий аварий на АЭС / В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Харків: УЦЗУ, 2007. – Вип. 5. – С. 182-189.
 8. Абрамов Ю.А. Математические модели объекта управления системы водяного автоматического пожаротушения / Ю.А. Абрамов, В.П. Садковой // Коммунальное хозяйство городов. – Киев: Техніка, 2007. – Вип. 74. – С. 413-419.
 9. Садковой В.П. Выбор модели объекта управления в системе ослабления последствий чрезвычайных ситуаций / В.П. Садковой // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Харків: УЦЗУ, 2007. – Вип. 6. – С. 115-120.
 10. Абрамов Ю.А. Динамические характеристики пожара класса В при его тушении распыленной водой / Ю.А. Абрамов // Пожежна безпека: теорія і практика. – Черкаси: АПБ, 2012. – С. 352-355.
 11. Бейтмен Г. Таблицы интегральных преобразований. Преобразования Фурье, Лапласа, Меллина / Г. Бейтмен, А. Эрдейн. – М.: Наука, 1969. – 344 с.
nuczu.edu.ua

Абрамов Ю.О., Гвоздь В.М.

Математична модель об'єкту управління системи послаблення наслідків надзвичайних ситуацій

Отримано наближену математичну модель об'єкту управління системи послаблення наслідків надзвичайної ситуації, яка належить класу дробово-раціональних функцій

Ключові слова: датчик первинної інформації, небезпечний фактор надзвичайної ситуації, діагностичний алгоритм

Abramov Y.A., Gvozd V.M.

Mathematical model of control object of emergencies mitigation system

Mathematical model of control object of emergencies mitigation system is built. It belongs to class of rational functions with complex argument.

Key words: primary information sensor, hazard emergency, diagnostic algorithm