

3. Воробьев В.А., Андрианов Р.А., Ушков В.А. Горючесть полимерных строительных материалов. М., Стройиздат, 1978, 224 с.
4. Ми Зуи Тхань Горючая загрузка в современных жилых помещениях // Пожаровзрывобезопасность. – 2005. Т. 14, №4 – С. 30-37.
5. Кіреєв О.О., Савченко О.В., Тарасова Г.В., Александров О.В. Дослідження теплозахисної дії гелевих плівок // Проблеми пожарной безопасности Сб. науч. тр. АГЗ Украины - Вып. 18 – Харьков: Фолио, 2005. – С. 82 –86.
6. Рузинов Л.П., Слободчикова Р.И. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – М., Химия, 1980. – 280 с., ил.

УДК 614.8

*Садковой В.П., канд. психол. наук, ректор, УГЗУ,
Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., УГЗУ*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА АЭС

Решена задача идентификации модели системы ослабления последствий аварий на АЭС на примере системы автоматического пожаротушения.

Постановка проблемы. Среди чрезвычайных ситуаций техногенного характера большое место занимают пожары [1]. Последствия таких чрезвычайных ситуаций особенно на объектах стратегического значения, например, на АЭС весьма ощутимы. В этой связи безопасности таких объектов уделяется очень серьезное внимание [2]. Одним из направлений, которое направлено на снижение уровня опасности АЭС, является использование информационных и управляющих систем (ИУС).

Анализ последних исследований и публикаций. Обобщенные сведения о ИУС АЭС в контексте обеспечения их безопасности изложены в [2]. Однако следует отметить, что даже в этой работе практически не рассматривают вопросы касательно обеспе-

чения пожарной безопасности АЭС. В тоже время, согласно INSAG-12 [3] реализация фундаментальных принципов глубоко-эшелонированной защиты предполагает наличие на АЭС систем, обеспечивающих ослабление последствий аварий. К числу таких систем, в частности, следует отнести системы автоматического пожаротушения (САП). Среди последних исследований и публикаций наиболее полно сведения о САП приведены в [4, 5]. Однако все эти системы строятся с использованием традиционных подходов, основным из которых является реализация в САП принципа управления по возмущению.

Принципиально новые возможности в построении систем, обеспечивающих ослабление последствий аварий на АЭС, открываются при реализации, в частности, в САП принципа управления по отклонению [6]. При этом возникает необходимость в идентификации математических моделей таких систем [7].

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является решение задачи идентификации математической модели автоматической системы ослабления последствий аварий на АЭС на примере САП.

Обобщая принципы построения САП, изложенные в [4, 6], структурную схему такой системы можно представить в виде, приведенном на рис. 1.

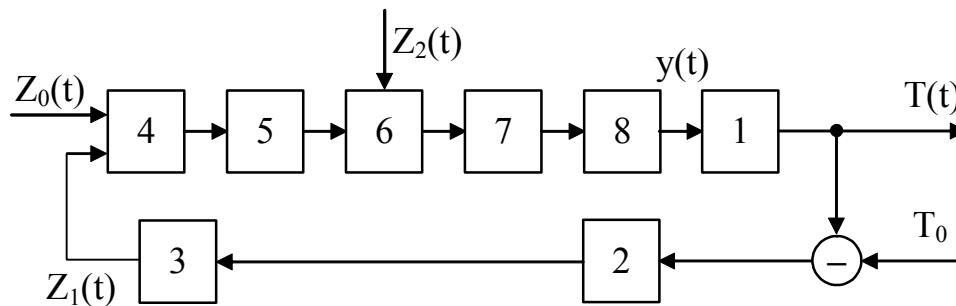


Рис. 1 – Структурная схема САП: 1 – объект управления; 2 – датчик первичной информации; 3 – устройство обработки информации; 4 – устройство управления; 5 – усилитель мощности; 6 – клапан; 7 – гидромагистраль; 8 – оросители

С помощью датчика первичной информации (ДПИ) 2 осуществляется контроль за состоянием объекта управления (ОУ) 1 и эта информация через устройство обработки информации (УОИ) 3 в виде сигнала $Z_1(t)$ передается в устройство управления (УУ) 4. В

УУ 4 формується закон управління $y(t)$, який забезпечує таку інтенсивність подачі огнетушального речовини $Z_2(t)$ по гідромагістралі (ГМ) 7 і через оросителі (О) 8 на ОУ 1, щоб величина небезпечного фактора пожежі $T(t)$ не перевищала допустимого значення.

Задачу ідентифікації математичної моделі САП сформулюємо наступним чином – визначити структуру і параметри моделі САП, що належить до класу передаточних функцій систем з концентрованими параметрами, якщо в якості обмежень виступають час перехідного процесу і його характер, а також структура і параметри моделей деяких функціональних елементів системи, включаючи об'єкт управління.

Нехай відома структура моделей всіх елементів САП (див. рис. 1) крім УУ 4. В першому наближенні всі ці елементи можуть бути описані загальною передаточною функцією виду

$$W_0(p) = \frac{K \exp(-\tau p)}{\prod_{i=1}^4 (\tau_i p + 1)}, \quad (1)$$

де K – загальний коефіцієнт передачі; τ – загальний час затримки; τ_i – постійна часу i -го елемента ($i=1$ – ДПІ; $i=2$ – підсилювач потужності (УМ) 5; $i=3$ – О; $i=4$ – ОУ).

Час затримки обумовлено затримкою в формуванні сигналу УОІ 3, а також затримкою в подачі огнетушального речовини через ГМ 7.

Відповідно до принципу динамічної компенсації [8] модель УУ 4 може бути представлена наступним чином

$$W_y(p) = W_0^{-1}(p) W_{pз}(p), \quad (2)$$

де $W_{pз}(p)$ – еталонна передаточна функція розімкнутої САП.

Відносно до схеми, представленій на рис. 1, має місце

$$W_{pз}(p) = \frac{W_з(p)}{1 - W_з(p)}, \quad (3)$$

где $W_s(p)$ – эталонная передаточная функция САП.

В качестве передаточной функции $W_s(p)$ согласно методу стандартных коэффициентов [9] целесообразно использовать выражение

$$W_s(p) = \frac{\omega_0^4}{p^4 + A_1\omega_0 p^3 + A_2\omega_0^2 p^2 + A_3\omega_0^3 p + \omega_0^4}, \quad (4)$$

где $\omega_0 = \tau_0 T^{-1}$; τ_0, T – безразмерное и размерное время переходного процесса соответственно; A_i – стандартные коэффициенты.

Тогда модель (2) с учетом (1), (3) и (4), а также при условии использования аппроксимации вида

$$\exp(-\tau p) \cong 0,5\tau^2 p^2 - \tau p + 1, \quad (5)$$

может быть записана следующим образом

$$W_y(p) = \frac{K_y \prod_{i=1}^4 (\tau_i p + 1)}{p \sum_{j=0}^5 a_j p^j}, \quad (6)$$

где $K_y = \frac{\omega_0^4}{K}$ – коэффициент передачи УУ 4;

$$\begin{aligned} a_0 &= (A_2 + A_3\omega_0)\omega_0^2; \\ a_1 &= (A_2 - A_3\omega_0\tau)\omega_0^2; \\ a_2 &= (A_1 - A_2\omega_0\tau + 0,5A_3\omega_0^2\tau^2)\omega_0; \\ a_3 &= 1 - A_1\omega_0\tau + 0,5A_2\omega_0^2\tau^2; \\ a_4 &= (0,5A_1\omega_0\tau - 1)\tau; \\ a_5 &= 0,5\tau^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Следует заметить, что передаточной функции вида (4), а также при условии, что перерегулирование в системе отсутствует,

соответствует $\tau_0 = 7,9$, а значения коэффициентов A_i равны – $A_1 = 4$; $A_2 = 1$; $A_3 = 2/3$ [9].

Анализ (7) применительно к этому случаю свидетельствует о том, что УУ не может быть физически реализовано. В частности, это следует из тех соображений, что все параметры a_j модели (6) должны быть вещественными числами, а в рассматриваемом случае применительно к параметру a_2 это не выполняется.

Если предположить, что в САП возможно некоторое перерегулирование, например, величина которого не превышает 5%, то в этом случае $\tau_0 = 5,15$; $A_1 = A_3 = 3$; $A_2 = 4,25$ [9]. Следует заметить, что такой вариант является предпочтительным по быстродействию системы.

Анализ (7) применительно к такому варианту выбора модели (6) свидетельствует о том, что для такого случая возможно обеспечить все значения параметров a_j вещественными числами. Кроме того, если предположить, что $a_j > 0$, то из (7) следует условие

$$T \leq 3,43\tau \quad (8)$$

или

$$\omega_0 \geq 1,15\tau^{-1}. \quad (9)$$

Таким образом, модель САП представляет собой выражение вида (4), в котором параметры A_i равны соответственно $A_1 = A_3 = 3$; $A_2 = 4,25$, а параметр ω_0 выбирается из условия (9). При технической реализации модели (4) необходимо, чтобы УУ 4 (см. рис. 1) описывалось передаточной функцией вида (6) с параметрами (7).

Полином 5-го порядка в знаменателе (6) можно записать в виде

$$\sum_{j=0}^5 a_j p^j = a_5 \prod_{j=1}^5 (p - p_j), \quad (10)$$

где p_j – j -й корень уравнения

$$\sum_{j=0}^5 a_j p^j = 0. \quad (11)$$

Т.к. ранее отмечалось, что в САП допускается малое значение перерегулирования, то среди корней p_j будут иметь место комплексные корни. В этой связи для наихудшего случая можно записать

$$a_5 \prod_{j=1}^5 (p - p_j) = a_5 (p - p_5) (p^2 + 2\alpha_1 p + \alpha_1^2 + \omega_1^2) \times \\ \times (p^2 + 2\alpha_2 p + \alpha_2^2 + \omega_2^2), \quad (12)$$

где $p_{1,2} = \alpha_2 \pm j\omega_1$; $p_{3,4} = \alpha_2 \pm j\omega_2$ – комплексно-сопряженные корни уравнения (11). Корень p_5 – вещественное число.

Для локальной передаточной функции

$$W_{Л1}(p) = (p^2 + 2\alpha_1 p + \alpha_1^2 + \omega_1^2)^{-1} \quad (13)$$

можно записать

$$W_{Л1}(p) = (p^2 + 2\alpha_1 p + 1)^{-1} \left(1 + (\alpha_1^2 + \omega_1^2 - 1)(p^2 + 2\alpha_1 p + 1)^{-1} \right)^{-1}, \quad (14)$$

что соответствует встречно-параллельному соединению с отрицательной обратной связью двух звеньев с передаточными функциями

$$W_{Л11}(p) = (p^2 + 2\alpha_1 p + 1)^{-1}; \quad W_{Л12}(p) = \alpha_1^2 + \omega_1^2 - 1, \quad (15)$$

причем первое звено является элементом прямой цепи, а второе – элементом цепи обратной связи.

Аналогично можно записать выражение для локальной передаточной функции, включающей параметры α_2 и ω_2 , т.е.

$$W_{Л2}(p) = (p^2 + 2\alpha_2 p + \alpha_2^2 + \omega_2^2)^{-1} = \\ = (p^2 + 2\alpha_2 p + 1)^{-1} \left(1 + (\alpha_2^2 + \omega_2^2 - 1)(p^2 + 2\alpha_2 p + 1)^{-1} \right)^{-1}, \quad (16)$$

Тогда техническая реализация модели (6) может быть осуществлена в соответствии с выражением

$$W_y(p) = K_{y1} W_{Л1}(p) W_{Л2}(p) \frac{\prod_{i=1}^4 (\tau_i p + 1)}{p(p - p_5)}, \quad (17)$$

где $K_{y1} = K_y a_5^{-1}$.

В этом выражении дробно-рациональный сомножитель

$$\prod_{i=1}^4 (\tau_i p + 1)(p - p_5)^{-1} \quad (18)$$

может быть реализован с помощью активных РС корректирующих устройств [8, 9].

Выводы. Решена задача идентификации математической модели САП как системы ослабления последствий аварий, в частности, пожаров на АЭС. Показано, что такая математическая модель принадлежит к классу моделей в виде передаточной функции системы с сосредоточенными параметрами. Показана принципиальная возможность в физической реализации модели устройства управления САП.

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. Безопасность атомных станций: Информационные и управляющие системы / Под ред. М.А. Ястребенецкого. – К.: Техніка, 2004. – 472 с.
3. INSAG-12. Basic safety principles for nuclear power plants // 75-INSAG-3 Rev.1. IAEA. – Vienna, 1999.
4. Котов А.Г. Пожаротушение и системы безопасности. – Киев: Репро-Графика, 2003. – 270 с.
5. Пожаротушение. Программные комплексы систем автоматического водяного, пенного, аэрозольного и газового пожаротушения. Методические указания. – Х.: АГЗУ, 2004. – 114 с.

6. Садковой В.П., Абрамов Ю.А. Концептуальные основы построения систем автоматического пожаротушения // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации. – Матер. межд. НПК. – Гомель: МЧС Республики Беларусь, 2006. – С.185 – 186.
7. Абрамов Ю.А., Садковой В.П. Алгоритм синтеза систем автоматического пожаротушения / Науковий вісник будівництва. – Х.: ХТУБА, 2006. – Вип.. 36. – С.199 – 202.
8. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. – М.: Наука, 1986. – 616 с.
9. Красовский А.А., Поспелов Г.С. Основы автоматики и технической кибернетики. – М.: ГЭИ, 1962. – 724 с.

УДК 539.3

Светличная С.Д., канд. техн. наук, доц., УГЗУ

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ВЗРЫВНЫХ БРОНЕКАМЕР В ФОРМЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДА

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

В рамках динамической теории упругости исследуется прочностное состояние упругого тела в форме прямоугольного параллелепипеда, принимаемого в качестве составляющего элемента коробчатой взрывной бронеканеры.

Постановка проблемы. В настоящее время широкое применение находят бронеканеры для проведения взрывных работ, выполненные в виде коробчатых конструкций, основными элементами которых являются пластины. В данной статье описана методика расчета нестационарных деформационных процессов, вызванных воздействиями импульсных или взрывных нагрузок, в упругом теле в виде прямоугольного параллелепипеда, который принимается как составляющий элемент взрывной бронеканеры.

В качестве определяющих уравнений используются трехмерные уравнения динамической теории упругости.