

*Садковой В.П., канд. психол. наук, ректор, УГЗУ,  
Коврегин В.В., проректор, УГЗУ,  
Байтала М.Р., зам. нач., ГДПБ МЧСУ*

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА ДАТЧИКА ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ**

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

Разработана имитационная модель, описывающая процесс определения постоянной времени датчика первичной информации (ДПИ) системы ослабления последствий аварий непосредственно при его эксплуатации

**Постановка проблемы.** Эффективность работы системы ослабления последствий аварий во многом определяется совершенством ее системы эксплуатации. Одним из этапов при создании таких систем является их моделирование, что позволяет решать задачи по выбору структуры системы, алгоритмов ее функционирования и др. В этой связи актуальной проблемой является создание комплекса моделей, с помощью которых можно было бы осуществлять моделирование всех этапов функционирования систем ослабления последствий аварий, включая штатные режимы их работы, которые не всегда могут быть воспроизведены физически.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Согласно INSAG-12 [1] реализация фундаментальных принципов глубокоэшелонированной защиты, в частности АЭС, предполагает наличие систем, обеспечивающих ослабление последствий аварий. В наиболее общем виде модели таких систем рассмотрены в [2]. Эти модели принадлежат классу аналитических моделей, и их использование для моделирования обуславливает необходимость в применении соответствующих трансляторов. Более широкими возможностями обладают имитационные модели, в основе которых лежит использование пакетов визуального программирования [3].

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является создание имитационной модели, с помощью которой обеспечивает-

ся моделирование процесса определения динамического параметра датчиков первичной информации с терморезистивным чувствительным элементом во время проведения их температурных объектовых испытаний.

Теоретической основой такой имитационной модели является математическая модель терморезистивного чувствительного элемента ДПИ и алгоритм обработки информации, в основе которых лежит измерение временных параметров его выходного сигнала при протекании по такому чувствительному элементу электрического тока в виде одиночного импульса, например, треугольной формы.

В качестве математической модели терморезистивного чувствительного элемента ДПИ при внутреннем тепловом воздействии может быть использована передаточная функция, усредненная по его объему [4]

$$W(p) = \frac{\theta(p)}{L(i^2(t))} = \frac{k\tau_1}{\tau_1 p + 1}, \quad (1)$$

где  $\theta(p)$  – изображение по Лапласу от выходного сигнала чувствительного элемента;  $i(t)$  – электрический ток, протекающий через чувствительный элемент;  $L$  – оператор интегрального преобразования Лапласа;  $k$ ,  $\tau_1$  – коэффициент передачи и постоянная времени.

Если имеет место [5]

$$i(t) = I_0 t_0^{-1} t [1(t) - 1(t - t_0)], \quad (2)$$

где  $I_0$ ,  $t_0$  – амплитуда и длительность треугольного импульса электрического тока, то выражение для выходного сигнала терморезистивного чувствительного элемента ДПИ будет иметь вид

$$\begin{aligned} \theta(t) &= L^{-1} [k\tau_1 L(i^2(t)) (\tau_1 p + 1)^{-1}] = \\ &= k\tau_1 (I_0 t_0^{-1})^2 \left[ \left[ t^2 - 2\tau_1 t + 2\tau_1^2 \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right) \right] 1(t) - \right. \\ &\quad \left. - \left[ (t - t_0)^2 + 2(t_0 - \tau_1)(t - t_0) + \right. \right. \end{aligned}$$

$$+ \left( 2\tau_1^2 - 2\tau_1 t_0 + t_0^2 \right) \left( 1 - \exp \left( - \frac{t - t_0}{\tau_1} \right) \right) \Big] 1(t - t_0), \quad (3)$$

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

Пусть выполняются условия

$$t > 3\tau_1; t_0 > 3\tau_1; \frac{d\theta(t)}{dt} > 0. \quad (4)$$

Тогда для моментов времени  $t_i$ ,  $i = 1, 2, 3$  можно записать

$$\theta_i(t_i) = k \tau_1 I_0^2 t_i^{-2} (t_i^2 - 2\tau_1 t_i + 2\tau_1), \quad (5)$$

что следует из (3).

Величина методической погрешности при этом не будет превышать 5%.

Если положить, что

$$\theta_3(t_3) - \theta_2(t_2) = \theta_2(t_2) - \theta_1(t_1), \quad (6)$$

то из (5) следует алгебраическое уравнение первого порядка относительно динамического параметра  $\tau_1$ , т.е.

$$2\tau_1(t_3 - 2t_2 + t_1) - (t_3^2 - 2t_2^2 + t_1^2) = 0, \quad (7)$$

откуда

$$\tau_1 = 0,5 \frac{t_3^2 - 2t_2^2 + t_1^2}{t_3 - 2t_2 + t_1}. \quad (8)$$

Это выражение служит для определения величины постоянной времени ДПИ по результатам измерения параметров  $t_i$ , которые соответствуют значениям выходного сигнала  $\theta_i(t_i)$  при условии, что имеет место (6).

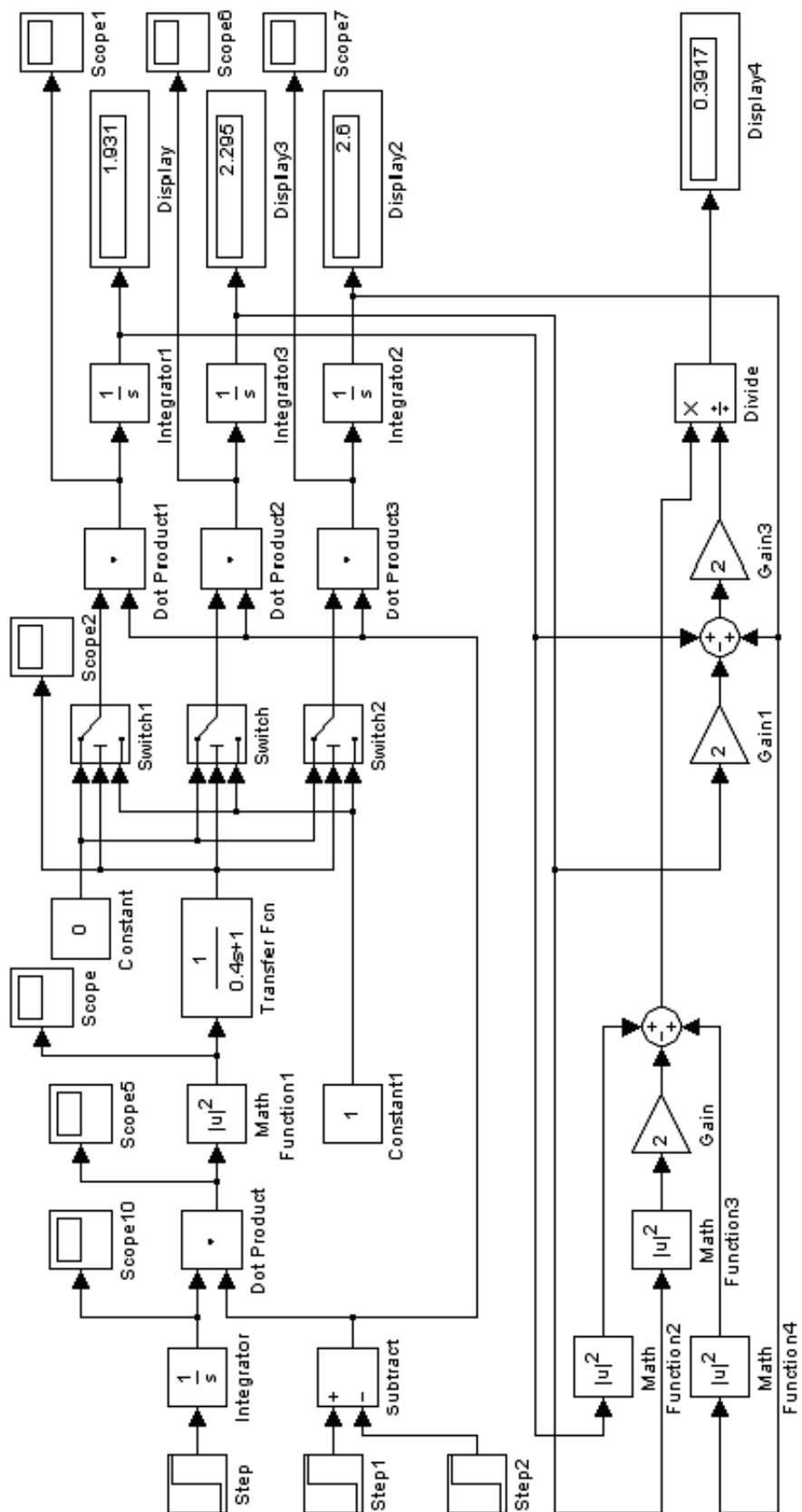


Рис. 1 – Имитационная модель процесса определения величины постоянной времени ДПИ

Садковой В.П., Коврегин В.В., Байтала М.Р.

На рис. 1 изображена структурная схема имитационной модели процесса определения величины постоянной времени ДПИ с терморезистивным чувствительным элементом. Модель включает две субмодели, одна из которых имитирует процесс измерения временных параметров  $t_i$ , а вторая служит для реализации алгоритма (8). Модель реализована в среде MATLAB с помощью пакета визуального программирования Simulink. С помощью блоков Step, Step1, Step2, Integrator, Subtract и Dot Product осуществляется моделирование источника электрического тока, который формирует одиночный импульс вида (2). Блок Math Function1 совместно с блоками Step, Step1, Step2, Integrator, Subtract и Dot Product моделируют входное воздействие на чувствительный элемент, работа которого моделируется блоком Transfer Fcn. Блоки Constant, Constant1, Switch, Switch1, Switch2, Dot Product1÷ Dot Product3, Step1, Step2 и Subtract выполняют функции трех пороговых устройств, каждое из которых настраивается на соответствующее значение порога срабатывания  $\theta_i$ . Блоки Integrator1, Display, Integrator3, Display3 и Integrator2, Display2 служат для измерения моментов времени  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ , в которые выходной сигнал чувствительного элемента ДПИ достигает значений  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  и  $\theta_3$  соответственно. Блоки Math Function2, Math Function3, Math Function4, Gain и сумматор реализуют алгоритм числителя в выражении (8), а блоки Gain1, Gain3 совместно со вторым сумматором реализуют алгоритм знаменателя (8). Оператор деления реализуется с помощью блока Divide.

С помощью такой модели осуществлялось имитационное моделирование с параметрами  $t_0 = 3,0$  с;  $I_0 = 3,0$  А;  $\tau_1 = 0,4$  с;  $\theta_1 = 2,75$  К;  $\theta_2 = 3,5$  К;  $\theta_3 = 4,25$  К.

В результате моделирования было получено значение постоянной времени, равное 0,3911 с, т.е. погрешность рассогласования равна 2,2%.

**Вывод.** Разработана имитационная модель процесса определения динамического параметра датчика первичной информации при проведении его объектовых испытаний, в основе которой лежит реализация метода, предусматривающего измерение временных параметров выходного сигнала терморезистивного чувствительного элемента ДПИ системы ослабления последствий аварий при тепловом воздействии, обусловленном протеканием электрического тока в виде одиночного импульса треугольной формы.

Имитационное моделирование процесса определения динамического параметра датчика первичной информации системы ослабления последствий аварий

Имитационная модель получена в среде MATLAB с помощью пакета визуального программирования Simulink.

Результаты имитационного моделирования тест-задачи свидетельствуют о том, что величина методической погрешности равна 2,2%, что характеризует достаточно высокую степень адекватности математического описания процессов, протекающих в терморезистивном чувствительном элементе ДПИ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. INSAG-12. Basic safety principles for nuclear power plants // 75-INSAG-3 Rev. 1. IAEA. – Vienna, 1999.
2. Садковой В.П., Абрамов Ю.А. Идентификация математической модели автоматической системы ослабления последствий аварий на АЭС // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2007. – Вип. 5. – С. 182-184.
3. Лазарев Ю.В. Моделирование процессов и систем в MATLAB. – СПб.: Питер, 2005. – 512 с.
4. Коврегин В.В., Абрамов Ю.А. Математическое обеспечение испытаний тепловых пожарных извещателей // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ, 2007. – Вып. 22. – С. 94-99.
5. Коврегин В.В. Модель выходного сигнала ТПИ с терморезистивным чувствительным элементом при протекании по нему электрического тока в виде импульса треугольной формы // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ, 2008. – Вып. 23. – С. 86-90.