

## ТЕСТОВОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

Интенсивное развитие микроэлектронных и IT-технологий, широкое использование программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), микроконтроллеров, систем и сетей на одном кристалле (SoC и NoC) открывают перспективы развития инновационных подходов к созданию систем, обладающих новыми функциональными свойствами, такими, как самоорганизация, реконфигурация, искусственный интеллект. Возрастание сложности современных многопроцессорных систем управления (МПСУ) технологическими процессами во всех промышленных областях, требований высокой производительности, надежности и отказоустойчивости МПСУ определяют парадигму развития встроенной диагностической инфраструктуры МПСУ для рационального управления процессами функционирования, диагностирования и восстановления работоспособности систем.

В теории динамических систем (ДС) для обнаружения неисправностей используются различные методы тестового диагностирования в стационарных и переходных режимах функционирования, диагностирование с помощью передаточных нулей и ганкелевых сингулярных чисел, матричных операторных норм линейных ДС.

В настоящей работе представлен метод тестового диагностирования ДС в переходных режимах. На входы системы подаются импульсные, ступенчатые или линейно возрастающие воздействия, а в качестве диагностических признаков используются параметры или геометрические образы импульсной весовой или переходной функции.

Предлагаемый метод тестового диагностирования основан на использовании детерминированных автоматных моделей фазовых геометрических образов ДС, заданных в цифровой форме точками на геометрических линиях, полиномиальной аппроксимации функций переходов и выходов автоматной модели, отображающей исправное состояние объекта диагностирования.

Обоснована целесообразность формирования геометрических образов поведения ДС в виде функций переходов-выходов детерминированных автоматов с магазинной памятью (МП-автоматов), которые представляют собой класс распознающих моделей для контекстно-свободных языков. Такие автоматные модели можно эффективно использовать в качестве распознавателей фазовых портретов ДС.

МП-автомат – это упорядоченная семерка  $M = (X, Z, A, \delta, F, z_0, a_0)$ , где  $X$  – множество символов входного алфавита;  $Z$  – конечное множество состояний;  $A$  – конечное множество символов магазинного алфавита;  $\delta$  – система команд МП-автомата;  $F \subseteq Z$  – подмножество заключительных состояний;  $z_0 \in Z$  – начальное состояние МП-автомата;  $a_0 \in A$  – начальный символ магазинного алфавита.

Структура МП-автомата включает блок управления, входную ленту, считывающую головку и блок внутренней памяти в виде магазина (или стека) МП-автомата, в которой записаны эталонные значения геометрического образа ДС в узловых точках аппроксимации и числовые значения интервалов аппроксимации. МП-автомат можно рассматривать как двухленточную машину Тьюринга, в которой одной из лент является магазинная память. Входная лента разделена на ячейки, пронумерованные от крайней левой ячейки натуральными числами начиная с единицы. В каждой ячейке записывается символ алфавита  $X = \{x_i\}$ , называемого *входным алфавитом МП-автомата*.

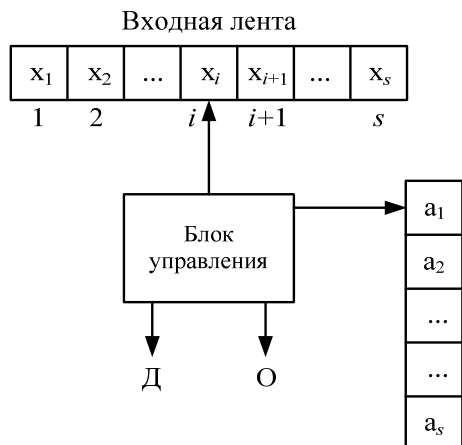


Рис. 1. Структура детерминированного МП-автомата

На каждом *шаге* (или *такте*) работы МП-автомата *головка* читает содержимое некоторой ячейки памяти.

Магазин МП-автомата, как и входная лента, разделен на отдельные ячейки, в каждой из которых может быть записан символ алфавита  $A$ , называемого *магазинным алфавитом МП-автомата*.

Для кусочно-линейной аппроксимации длина входной ленты или число текущих значений ординат переходной характеристики определяется выражением:

$$N = \frac{T_{\text{ч}}}{\Delta t_{\text{л}}}, \text{ где } \Delta t_{\text{л}} = \frac{\sqrt{8\epsilon_0}}{Y'_{\text{max}}} \quad (1)$$

В магазинную память МП-автомата вводятся эталонные значения функции в узловых точках аппроксимации и числовое значение интервала аппроксимации, что обеспечивает редукцию автоматной модели.

Вычисление этих параметров осуществляется на этапе настройки МП-распознавателя с помощью разработанной вычислительной про-

граммы для кусочно-линейной интерполяции эталонных значений геометрического портрета ДС.

Как следует из структурной схемы МП-автомата (рис. 1) и процедуры вычисления текущих эталонных значений аппроксимирующей кусочно-линейной функции,  $\delta$ -система команд МП-автомата включает следующие команды: *вытолкнуть*, *сравнить*, *сложить*, *умножить*, *допустить*, *отвергнуть*.

Представлен пример построения диагностического эксперимента проверки исправности ДС путем анализа переходной характеристики системы, которая задана передаточной функцией  $Q(p)$  четвертого порядка:

$$Q(p) = \frac{-0,3p^3 - 0,193p - 0,016}{p^4 + 1,234p^3 + 1,05p^2 + 0,067p + 0,026} \quad (2)$$

На рис. 2 представлены результаты вычислений характеристик исходной эталонной и аппроксимирующей редуцированной модели для случая кусочно-линейной интерполяции переходной характеристики ДС в соответствии с выражением (1).

Из анализа исходной эталонной переходной характеристики получаем:

$$Y'_{\max} = 0,28 \frac{1}{\text{сек}} ; T_y = 350 \text{ сек.} \quad (3)$$

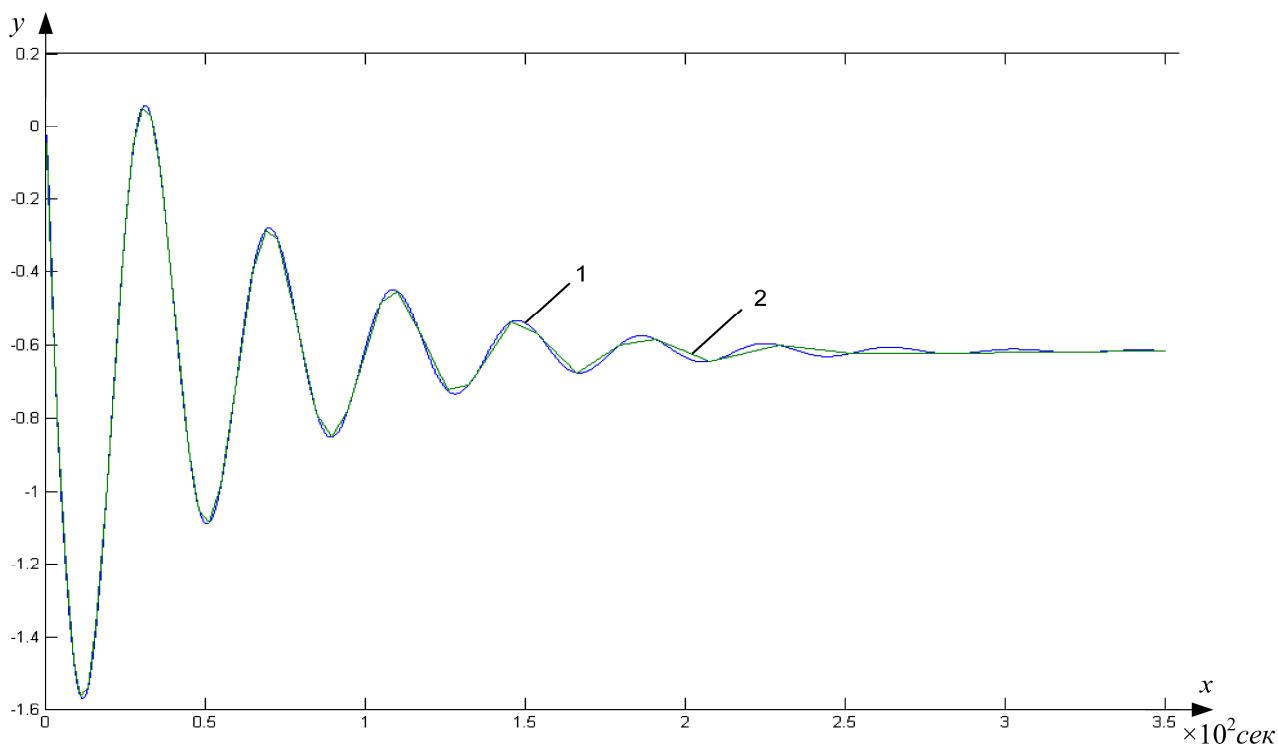


Рис. 2. Переходные характеристики эталонной модели (1) и редуцированной модели (2) для  $\epsilon_0 = 1\%$

Основные параметры редуцированной МП-автоматной модели исходной переходной характеристики ДС приведены в таблице 1.

Таблица 1

параметры погрешность	$\Delta t_t$ , сек	$N_x$	$K_x$	$C_{МП}$	$K_r$
5%	2,26	155	17	17×16	9,1
1%	1,0	350	41	41×16	8,54

Параметры редуцированной МП-автоматной модели:  $\Delta t_t$  – интервал дискретных отсчетов функции, определяющий частоту считывания данных головкой МП-автомата;  $N_x$  – число текущих значений ординат функции, соответствующих длине входной ленты МП-автомата;  $K_x$  – число кусочно-линейных аппроксимаций функции или число ячеек магазинной памяти;  $C_{МП}$  – емкость магазинной памяти;  $K_r = N_x/K_x$  – коэффициент редукции МП-автоматной модели.

Приведенный пример и затраты на реализацию МП-распознавателя геометрических образов подтверждают эффективность предложенного метода тестового диагностирования исправности ДС.