

## МОДУЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВРЕМЕННОГО РЯДА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Буштрук Т.Н.<sup>1</sup>, Буштрук А.А.<sup>2</sup>

1). Самарский государственный университет путей сообщения  
Самара, Российская Федерация

2). Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики  
Саров, Российская Федерация

Обоснованные управленческие решения, направленные на обеспечение заданного функционирования технологического процесса, основываются на достоверной информации о модели объекта. Модуль идентификации временных рядов, встроенный в контур системы управления, позволяет решить эту задачу [1-3, 5, 6]. На основе полученных достоверных моделей строятся долгосрочные, краткосрочные прогнозы изменений текущих параметров и алгоритмы управления. Примеры использования алгоритмов моделирования временных последовательностей различных производственных потоков для получения опорной модели технологического процесса даны в [2, 4, 6].

Для процедур идентификации разработана измерительно-вычислительная схема получения взаимных корреляционных функций для выбранных отрезков временного ряда [2, 5, 6]. Структура и параметры чётного полосового фильтра в корреляционно-спектральном анализаторе выбираются такими, чтобы его импульсная переходная характеристика

(ИПХ) имела вид:  $h_{\phi i}(t) = k_{\phi i} \{ \exp(-|t|/T_i) \cos \omega_0^{(i)} t \} / T_i$ , где  $\omega_0^{(i)}$  –

центральные частоты настройки фильтров,  $k_{\phi i}$  – масштабные коэффициенты,  $T_i$  – постоянные времени.

$$R_{Z_2 Z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} h_{\phi\phi}(\theta_1; \Delta t_\alpha) h_{\phi\phi}(\theta_2; \Delta t_\beta) h_{\phi 2}(\mu_\alpha) h_{\phi 1}(\mu_\beta) \times \\ \times R_{xx}(\tau_2 - \tau_1 + \theta_2 - \theta_1 + \mu_\alpha - \mu_\beta) d\mu_\alpha d\mu_\beta d\theta_1 d\theta_2.$$

В полученные выражения входят (ИПХ) формирующего фильтра – опорной модели временного ряда и ИПХ полосовых фильтров в структуре корреляционно-спектрального анализатора [4, 5]. Дальнейшее преобразование выражения дает:

$$R_{Z_2 Z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \sigma^2 K_{\phi\phi}^{(\beta)}(\omega^{(2)}) K_{\phi\phi}^{(\alpha)}(\omega^{(1)}) \int_0^{\infty} \cos(\omega^{(1)} \mu) d\mu \times \\ \times \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\omega(\tau_2 - \tau_1 - \mu - \beta)} e^{-j\Psi^{(\beta)}(\omega^{(2)})} e^{-j\Psi^{(\alpha)}(\omega)} \left\{ \frac{1}{2} \delta(\omega - \omega^{(2)}) + \frac{1}{2} \delta(\omega + \omega^{(2)}) \right\} d\omega.$$

Полученные интегральные уравнения вычисляются на основе теоремы Бореля о свертке и фильтрующем свойстве  $\delta$ -функции

$$R_{z_2 z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \sigma^2 K_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega_0^{(2)}) K_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega_0^{(2)}) \times \\ \times \cos \left\{ \omega_0^{(1)} (\tau_2 - \tau_1) + \Psi_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega_0^{(2)}) / \omega_0^{(2)} - \Psi_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega_0^{(2)}) / \omega_0^{(2)} \right\} \times \\ \times \left\{ \frac{1}{2} \delta(\omega_0^{(1)} - \omega_0^{(2)}) + \frac{1}{2} \delta(\omega_0^{(1)} + \omega_0^{(2)}) \right\}.$$

При выводе последних формул учитывалось свойство Эрмитовой симметрии для  $\delta$ -функций от частотных аргументов.

$$R_{z_2 z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \sigma^2 K_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega_0) K_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega_0) \times \\ \times \cos \left\{ \omega_0 (\tau_2 - \tau_1) + \Psi_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega_0) - \Psi_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega_0) \right\}.$$

В конечные выражения для взаимных корреляционных функций, полученных по измерительной схеме, входят модули комплексных передаточных функций  $K_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega)$ ,  $K_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega)$  и фазовые характеристики

формирующего фильтра  $\Psi_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega)$ ,  $\Psi_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega)$ . При идентификации определяется модель исследуемой временной последовательности и ее формирование. Алгоритмы и критерии идентификации приведены в [1, 2, 6]. С помощью критериев приведенных в [2, 6] можно осуществить идентификацию параметров формирующего фильтра и строить прогнозы.

1. Буштрук А. Д., Буштрук Т. Н., Фазлыев И. И. Корреляционно-спектральный метод идентификации квазистационарных временных процессов с разрешением противоречия между точностью и быстродействием// А и Т. – 2011. - № 7. – С. 147-158.

2. Буштрук Т. Н., Буштрук А. Д. Методы идентификации объектов и процессов. М-во тр-та РФ; Самарская гос. акад. путей сообщ. – Самара: СамГАПС, - 2005. 150 с

3. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1 Пер. с англ. М.: Мир, 1974.

4. Буштрук Т. Н., Царыгин М. В., Кленюшин Д. С. Компьютерный обучающий комплекс для персонала предприятий вагонного хозяйства с модулем идентификации и прогнозирования временных рядов// Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. телекоммуникации. управление. 2015. № 4(224). С. 105-113.

5. Буштрук Т. Н. Двухэтапная идентификация нелинейных объектов и процессов в адаптивных системах управления /Вестник транспорта Поволжья: научно-технич. журнал. – Самара: СамГУПС, 2019. – Вып. № 1 (73). – С. 72-79.

6. Буштрук Т. Н., Засов В. А. Перспективные направления моделирования и идентификации динамических систем : монография / Т. Н. Буштрук, В. А. Засов. – Самара : СамГУПС, 2019. – 158 с.: ил.