

## АЛГОРИТМ МОНИТОРИНГА ВИБРАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

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

1) Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров;

2) Самарский государственный университет путей сообщения,  
Российская Федерация

Железнодорожный транспорт оказывает на прилегающие территории различного рода воздействия. Регламентируемые мероприятия направлены, как на формирование мониторинговой системы, так и на улучшение и совершенствование технологических режимов функционирования оборудования. Создание мониторинговой системы по контролю и исследованию воздействия вибрации на прилегающие к железнодорожному полотну территории является, безусловно, актуальной задачей. Мониторинговая система должна включать технические средства, обеспечивающие текущий и выборочный контроль и измерение исследуемых параметров, нормируемые и регламентируемые допустимые значения вибрации и шума (карты полей), программное обеспечение для проведения идентификации временной последовательности значений вибрации (шума) и модуль построения прогноза [1, 2,4]. Интерпретируется процесс линейным звеном с дробно-рациональной передаточной функцией при подаче на его вход сигнала типа белый шум с гауссовским распределением. Фиксируемые участки временного процесса аналитически можно представить следующим образом

$$y(t; \Delta t_1) = \int_0^{\infty} h(\mu_1; \Delta t_1) x(t - \mu_1) d\mu_1, y(t; \Delta t_2) = \dots = y(t; \Delta t_l) = \int_0^{\infty} h(\mu_l; \Delta t_l) x(t - \mu_l) d\mu_l,$$

В выражении  $x(t) = \sigma \delta(t)$  – белый шум с неизвестным среднеквадратическим отклонением  $\sigma$ ,  $\delta(t)$  – дельта функция,  $h(\mu_i; \Delta t_i)$  – импульсная переходная характеристика (ИПХ) квазистационарного линейного формирующего фильтра,  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_l$ . В процедуре обработки временных последовательностей вычисляются взаимные корреляционно-спектральные функции между произвольно выделенными равными по продолжительности реализациями временного процесса.

Используются сигналы  $y(t) = \int_0^{\infty} h_{\phi\phi}(\theta) x(t - \theta) d\theta$   $z_1(t - \tau_1; \Delta t_\gamma) = \int_0^{\infty} h_\phi(\mu_\gamma) y(t - \tau_1 - \mu_\gamma; \Delta t_\gamma) d\mu_\gamma$ ,

где  $\gamma, q = \overline{0, l}$ ,  $h_\phi(t)$ ,  $h_{\phi\phi}(t)$  – ИПХ полосового фильтра и формирующего фильтра. Алгоритм корреляционно-спектральной идентификации основан на вычислении корреляционных функций

$$R_{Z_2 Z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \frac{1}{t_0 - (\tau_2 - \tau_1)} \int_0^{t_0 - (\tau_2 - \tau_1)} z_2(t - \tau_2; \Delta t_\alpha) z_1(t - \tau_1; \Delta t_\beta) dt, \tau_2 \geq \tau_1,$$

где  $\alpha, \beta, c, d = \overline{0, l}$  (участки временных последовательностей).

Получение модели временного ряда сводится к оценке значений постоянных времени, масштабных коэффициентов, показателей степени полиномов числителя и знаменателя дробно-рациональной передаточной функции линейного звена формирующего фильтра [1, 4].

$$R_{Z_2 Z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \int_0^\infty \dots \int_0^\infty h_{\phi\phi}(\theta_1; \Delta t_\alpha) h_{\phi\phi}(\theta_2; \Delta t_\beta) h_{\phi_2}(\mu_\alpha) h_{\phi_1}(\mu_\beta) \times \dots$$

В приведенное выше выражение входят импульсные переходные характеристики формирующего фильтра (опорная модель) временного ряда и импульсные переходные характеристики полосовых фильтров в структуре корреляционно-спектрального анализатора [1, 3, 4]. Приведенные интегралы вычисляются на основе фильтрующего свойства  $\delta$ -функций и свойства эрмитовой симметрии для формирующего фильтра

$$R_{Z_2 Z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \sigma^2 K_{\phi\phi}^{(\beta)}(\omega_0) K_{\phi\phi}^{(\alpha)}(\omega_0) \cos\{\omega_0(\tau_2 - \tau_1) - \Psi_{\phi\phi}^{(\beta)}(\omega_0) + \Psi_{\phi\phi}^{(\alpha)}(\omega_0)\}.$$

В полученном выражении  $K_{\phi\phi}^{(\cdot)}(\omega_0)$ ,  $\Psi_{\phi\phi}^{(\cdot)}(\omega_0)$  - модуль комплексного коэффициента передачи и фазовая характеристика комплексного коэффициента передачи формирующего фильтра. Использование этих характеристик -  $K_{\phi\phi}^{(\cdot)}(\omega_0)$ ,  $\Psi_{\phi\phi}^{(\cdot)}(\omega_0)$  обеспечивает получение информации о порядках полиномов числителя и знаменателя передаточной функции линейного звена (формирователя временного ряда), постоянных времени и масштабных коэффициентов [2, 3]. В результате проведения процедуры идентификации участков временного ряда измерений вибропараметров железнодорожного полотна получаем аналитическое выражение для модели временного ряда.

Таким образом, компоненты системы мониторинга, включающей контрольно-измерительный блок, модуль идентификации временного ряда с необходимым программным обеспечением, органично объединяются в едином комплексе, обеспечивая его эффективное функционирование.

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. Кун Макс, Джонсон Кьелл Предиктивное моделирование на практике. – СПб.: Питер, 2019. – 640 с.
3. 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.
4. 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.