НАХОЖДЕНИЕ УЧАСТКОВ ПОНИЖЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ ГАРМОНИЧЕСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПРОНИ

Грицунов А.В., Штельма О.Н., Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова

Проблема поддержания работоспособности сложных инженерных сооружений (например, трубопроводов различного назначения) в последние годы становится все большее актуальной. Изношенность городской инфраструктуры приобрела критический характер, однако тотальный ремонт систем невозможен как по причинам неприемлемых трудовых и временных затрат, так и вследствие ограниченности финансирования. Поэтому нужны методики, позволяющие по координатам уже произошедших аварийных ситуаций определить границы областей пониженной надежности системы, нуждающихся в первоочередном капитальном ремонте или замене. Главная трудность при реализации таких методов состоит в стохастическом характере мест локализации аварий. Пока поверхностная плотность их невелика закономерность в расположении аварийных мест установить трудно. С увеличением плотности такая закономерность начинает проявляться. В этом смысле процесс похож на формирование интерференционной картины в квантовой механике из отдельных событий (рис. 1).

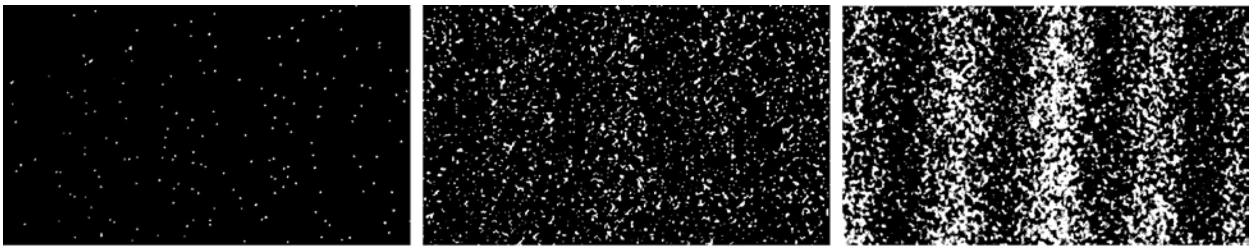

Рис. 1

Разумеется, чем раньше установить истинную закономерность, тем меньше будут расходы на ремонт и поддержание работоспособности системы. К сожалению, субъективная оценка здесь малоэффективна, нужно применять математические методы. В данной работе в качестве одного из вариантов предлагается использовать гармоническую аппроксимацию функции поверхностной плотности аварий методами Прони. От обычного разложения в ряды Фурье [1] эти методы выгодно отличаются отсутствием предположения о периодическом характере функциональной зависимости за пределами анализируемой территории, что создает предпосылки для более точной реконструкции данной зависимости, особенно вблизи границ системы (на окраинах мегаполиса).

Сущность методов Прони подробно описана в работе [2]. Подобно Фурье-анализу, эти методы заключаются в замене исходной функции $f(\mathbf{r})$ тригонометрическим полиномом вида:

$$f(\mathbf{r}) = \sum_{m=1}^{M} F_m \, e^{i\mathbf{k}_m \mathbf{r}}$$

или, в дискретной форме, с использованием z-преобразования:

$$f_l = \sum_{m=1}^{M} F_m z_m^l ,$$

где F_m и $\mathbf{k}_m$ – комплексная амплитуда и комплексное волновое число m-й гармонической составляющей соответственно; $z_m = \exp(\mathrm{i}\mathbf{k}_m\Delta\mathbf{r})$ – z-преобразование исходной последовательности.

Однако, в отличие от ряда Фурье, волновые числа гармоник здесь заранее не известны и находятся в процессе анализа. При этом возможны два случая:

– количество M комплексных экспонент в ряде равно половине количества отсчетов комплексной функции f. Общее число неизвестных равно количеству исходных данных и имеет место гармоническая интерполяция функции;

– количество членов ряда M меньше половины длины выборки. В данном варианте возможна только гармоническая аппроксимация исходной функции, которая выполняется методом наименьших квадратов. Вместо самой функции $f(\mathbf{r})$ при этом используется ее оценка:

$$f_l^e = \sum_{m=1}^{M} F_m z_m^l .$$

Программная реализация описанных алгоритмов с учетом особенностей факторизации полиномов высоких порядков подробно описана в работах [3,4]. Для расчета исходной функции поверхностной плотности аварий целесообразно использовать линейную интерполяцию либо более сложные методы, редуцирующие случайные погрешности. Выбор оптимального порядка модели (количества комплексных экспонент) является нетривиальной задачей и на первых порах может быть осуществлен методом подбора, до получения наиболее информативных результатов. Как развитие предлагаемой методики можно предложить комбинацию пространственной аппроксимации функции поверхностной плотности аварий с временной экстраполяцией этой же функции. Это позволит «действовать на упреждение», т.е. осуществлять своевременный капитальный ремонт системы на участках, где аварии только начинают проявляться.

Список литературы

1. Отнес, Р. Прикладной анализ временных рядов [Текст] / Р. Отнес, Л. Эноксон. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
2. Марпл-мл., С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения [Текст] / С.Л. Марпл-мл. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
3. Грицунов, А.В. Выбор методов спектрального оценивания временных функций при моделировании СВЧ-приборов [Текст] / А.В. Грицунов // Радиотехника. – 2003. – № 9. – С. 25-30.
4. Gritsunov, A.V. Harmonic Decomposition of an Exciting Current in Simulation of the Electron Devices [Text] / A.V. Gritsunov, L.Y. Turenko // Telecomm. and Radio Engineering. – 2002. – V. 58, No. 11-12. – P. 56-66.