

УДК 004.94  
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ  
РЯДОВ МЕТОДОМ АНАЛИЗА СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРА

Е. А. ЯКИМОВ, Е. А. ЗАЙЧЕНКО, Т. Л. ШЕБАН  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Могилев, Беларусь

Метод анализа сингулярного спектра, или иначе SSA-метод (Singular Spectrum Analysis) разработан для анализа временных рядов, позволяет выделить аддитивные составляющие временного ряда, которые описывают тренд первоначального ряда, гармонические колебания и те составляющие рядов, которые относят к «шуму».

Этапы исследования включают вложение, сингулярного разложение, группировку и диагональное усреднение. В соответствии с методикой исследования задается первоначальный временной ряд  $G = G_H + G_T + G_N$  с гармонической  $G_H$ , трендовой  $G_T$  и шумовой  $G_N$  составляющими. Аддитивные составляющие ряда задаются аналитическими функциями. Ставится задача выявления особенностей и количественной оценки качества восстановления аддитивных составляющих временного ряда.

Файл с первоначальным временным рядом представляет собой текстовый файл, содержащий последовательность вещественных чисел. Выходной файл, создаваемый программой BelSim 2#.SSA, представляет собой текстовый файл и графические файлы. Выходной текстовый файл хранит в себе следующую информацию: исходный временной ряд; численные значения трендовой, периодической и шумовой составляющей. Выходные графические файлы содержат: графики исходного ряда; сингулярных векторов; сингулярных чисел; лепестковые диаграммы левых и правых сингулярных векторов; трендовой, периодической и шумовой составляющей.

Исследования проведены с нормированным временным рядом, в котором исключается постоянная составляющая тренда и используется динамическая трендовая составляющая  $G_{TD}$ . Для сравнения результатов использовали оценки  $\Phi_{TD}$ ,  $\Phi_H$  и  $\Phi_N$ , определенные по формулам:

$$\Phi_{TD} = \frac{\sum_i^n x_i^2}{n}; \quad \Phi_H = \frac{\sum_i^n x_i^2}{n}; \quad \Phi_N = \frac{\sum_i^n x_i^2}{n},$$

где  $x_i^2$  – квадрат  $i$ -ых элементов первоначальной и восстановленной составляющей ряда.

Проведены следующие эксперименты в зависимости от соотношения  $\Phi_{TD} : \Phi_H : \Phi_N = 1:1:1; 1:1:10; 1:10:1; 1:10:10; 10:1:1; 10:1:10; 10:10:1; 10:10:10$ . Исследовали временные ряды с длиной  $n = 100, 200, 300$ .

Приняты следующие оценки: среднее (mean), медиана (med); характеристика и рассеяния (стандартное отклонение  $s$ ; максимум (max); минимум (min), диапазон (range), коэффициенты асимметрии распределения ( $\gamma_3$ ) и эксцесса ( $\gamma_4$ ).

В соответствии с результатами исследований отмечается, что трендовая составляющая восстанавливается в экспериментах с соотношением выбранных оценок  $\Phi_T:\Phi_H:\Phi_N=10:1:1$  при  $n=100, 200, 300$ ;  $10:1:1$  при  $n=100, 200, 300$ ;  $1:1:10$  при  $n=100$ .

Гармоническая составляющая восстанавливается в экспериментах с соотношением оценок  $\Phi_T:\Phi_H:\Phi_N=1:1:1$  при  $n=100, 200, 300$ ;  $1:10:1$  при  $n=100, 200, 300$ ;  $10:1:1$  при  $n=100, n=200$  (рисунок 1),  $n=300$ ;  $10:10:1$  при  $n=100, 200, 300$ .

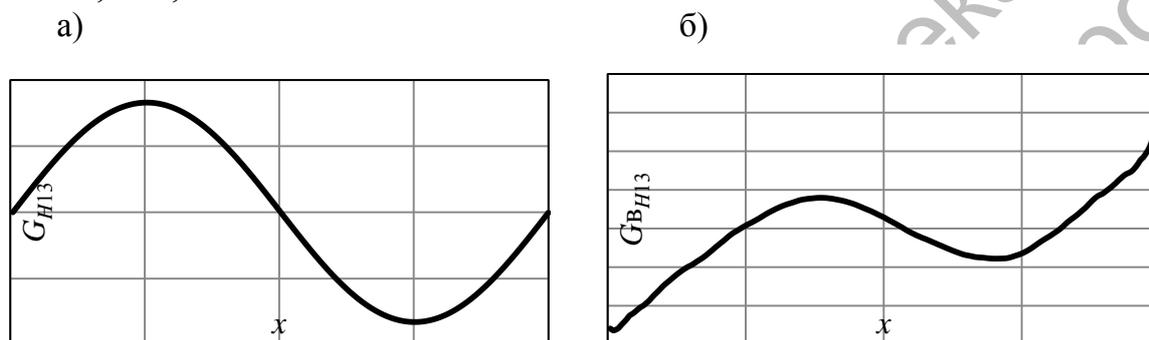


Рис. 1. Гармоническая составляющая: а – первоначальная и б – восстановленная при оценках  $\Phi_T:\Phi_H:\Phi_N=10:1:1$

Трендовая составляющая восстанавливается с изменением направления на противоположное в экспериментах с соотношением  $\Phi_T:\Phi_H:\Phi_N=1:1:1$  при  $n=100, 200, 300$ ;  $1:1:10$  при  $n=200, 300$ ;  $1:10:1$  при  $n=100, 200, 300$ ;  $10:10:10$  при  $n=100, 200, 300$ .

Гармоническая составляющая не восстанавливается (имеются значительные отклонения от амплитуды и числа периодов) в экспериментах с соотношением оценок  $\Phi_T:\Phi_H:\Phi_N=1:1:10$  при  $n=100, 200, 300$ ;  $1:10:10$  при  $n=100, 200, 300$ ;  $10:1:10$  при  $n=100, 200, 300$ ;  $10:10:10$  при  $n=100, 200, 300$ .

Выполненные исследования показывают неоднозначность восстановления при определенных соотношениях оценок, что необходимо учитывать в практическом применении метода анализа сингулярного спектра для принятия решений [1].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якимов, Е. А. Сингулярный спектральный анализ последовательностей данных на этапе эксплуатации имитационной модели / Е. А. Якимов, О. М. Демиденко, А. И. Якимов // Вестн. БГТУ. – 2013. – № 1 (37). – С. 95–101.