

УДК 677.011

DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_3\_122

**ПРИМЕНЕНИЕ СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕРОВНОТЫ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ**

**APPLICATION OF SINGULAR SPECTRAL ANALYSIS  
TO STUDY THE UNEVENNESS OF TEXTILE PRODUCTS**

*В.В. ВОЛКОВ, А.Д. СЕМЕНОВ, Н.К. ПАКУЛОВА*

*V.V. VOLKOV, A.D. SEMENOV, N.K. PAKULOVA*

**(Пензенский государственный технологический университет,  
Пензенский государственный университет)**

**(Penza State Technological University,  
Penza State University)**

E-mail: volkovv@penzgtu.ru

*Статья посвящена анализу волокнистых продуктов посредством сингулярного спектрального анализа временных рядов неровноты. Рассмотрены особенности применения данного метода в текстильных технологиях, отмечены некоторые значимые его преимущества по сравнению с традиционными методами.*

*The article is devoted to the analysis of fiber products by means of singular spectral analysis of time series of unevenness. Features of this method application in textile technologies are considered, some significant advantages in comparison with traditional methods are noted.*

**Ключевые слова:** сингулярный спектральный анализ временных рядов, волокнистый продукт, неровнота, линейный спектр.

**Keywords:** singular spectral analysis of time series, fiber product, unevenness, linear spectrum.

Параметры неравномерности текстильных материалов исследуются классическими методами спектрального анализа и их модификациями [1...3]. В настоящей ра-

боте применен аппарат сингулярного спектрального анализа (ССА), позволяющий исследовать стационарные и нестационарные временные ряды [4], [5].

В соответствии с процедурой ССА-анализа исходная постановка задачи спектрального ССА-анализа, как и гармонического анализа, заключается в двух трудно формализуемых процедурах: в выборе длины окна  $L$  и выборе ограниченного количества усредненных временных рядов  $Y_i$  для формирования отфильтрованного сигнала.

Предлагается выбор длины окна  $L$  осуществлять с помощью синхронного накопления с последовательно изменяющимся интервалом накопления и последующей оценкой среднеквадратичного отклонения отфильтрованного сигнала. Наличие периодических сигналов в исходном временном ряде с периодом, кратным интервалу накопления, приведет к увеличению среднеквадратичного отклонения. Максимальный интервал накопления, максимизирующий выходной сигнал синхронного накопителя, можно принять в качестве длины окна  $L$ .

Выбор ограниченного количества усредненных временных рядов  $Y_i$  предлагается осуществлять интерактивно путем предварительного наблюдения и последующего выбора тех рядов, что относятся к трендовым (медленно меняющимся), периодическим и случайным составляющим. Следует отметить, что временные ряды  $Y_i$  являются переходными функциями фильтров, настро-

енных на составляющие исходного процесса. Таким образом, фильтры порождаются самим исследуемым процессом, сингулярный спектральный анализ сам выделяет те спектральные компоненты, которые присутствуют в этом процессе. Выбор нескольких главных компонентов подобен параллельному соединению нескольких фильтров.

Следует отметить, что по сравнению с преобразованием Фурье сингулярный спектральный анализ – принципиально более медленный метод, не позволяющий проводить обработку временного ряда в реальном времени, из-за большой размерности формируемых матриц. Однако этот недостаток компенсируется рядом достоинств, отсутствующих в спектральном анализе:

- 1) возможность выделения тренда;
- 2) высокой точностью анализа, не зависящей от длины реализации;
- 3) возможностью нелинейной полосовой фильтрации в заданном диапазоне частот.

В качестве примера рассмотрим обработку временных рядов неровноты лент на входе и выходе высокоскоростной ленточной машины типа Л2-25 с одним выпуском. Механико-технологические параметры работы машины представлены в табл. 1.

Таблица 1

Скорость выпуска ленты (кинематическая), м/с (м/мин)	7 (420)
Длина перерабатываемого волокна (хлопок), мм	34...40
Линейная плотность ленты, ктекс:	
- входящей	2,5 x 4
- выходящей	2,5
Число сложенных	4
Общая вытяжка в вытяжном приборе (кинематическая)	4

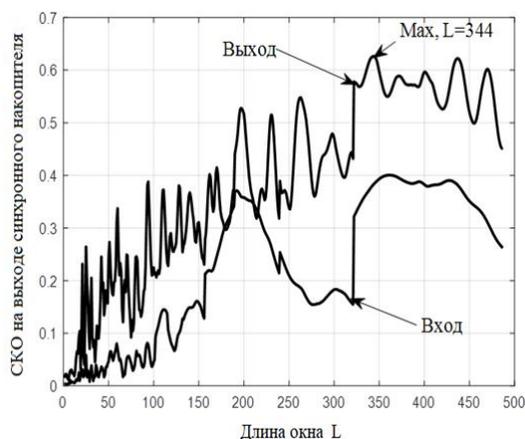


Рис. 1

Регистрация неравномерности волокнистого продукта осуществлялась датчиками неровноты. На входе машины устанавливался емкостной датчик фирмы USTER, на выходе машины датчик усилий протягивания ленты через уплотнительную воронку.

Результаты синхронного накопления с последовательно изменяющимся интервалом накопления и последующей оценкой среднеквадратичного отклонения (СКО) отфильтрованного сигнала приведены на рис. 1. Выбрана длина окна  $L=344$ , обеспечивающая максимум СКО.

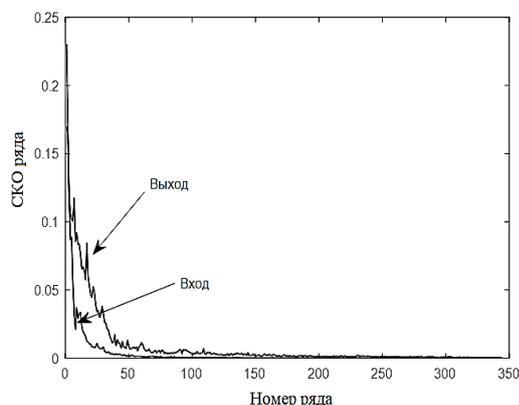


Рис. 2

На рис. 2 приведены СКО усредненных временных рядов  $Y_i$ .

Анализ полученных кривых позволяет сделать вывод о быстром уменьшении амплитуды временных рядов с ростом их номера. Для входного сигнала 30 первых временных рядов содержат 71% его мощности. Для выходного сигнала 70% мощности содержат только 18 временных рядов. Поэтому для анализа ограничимся лишь указанным числом рядов во входном и выходном сигнале.

ССА выделяет пары квазипериодических составляющих главных компонент ряда, суммирует с последующей аппроксимацией квазипериодических компонент гармонической функцией. В табл. 2 сведены результаты ССА.

Таблица 2

№	Вход				Выход			
	$A/A_{max}, B$	$\Omega, Гц$	$\varphi, рад$	№ ряда	$A/A_{max}, B$	$\Omega, Гц$	$\varphi, рад$	№ ряда
1	1,0000	0,4941	0,2439	1,2	1,0000	2,9240	0,2700	1,2
2	0,3585	0,6711	1,5213	3,4	0,7250	3,3784	1,6000	3,4
3	0,0755	1,0000	0,9259	5,6	0,6250	1,5601	1,7000	5,6
4	0,1132	1,5625	0,2786	7,8	0,6000	0,4946	2,7700	7,10
5	0,0943	0,0588	0,1393	9,12	0,4500	1,9194	0,6900	8,9
6	0,0377	1,3986	0,7813	10,11	0,3750	3,9370	3,6700	11,14
7	0,1509	2,9412	0,5102	13,14	0,4250	2,5253	3,5600	12,13
8	0,0566	1,7331	0,1905	15,16	0,2250	1,3986	5,9800	15,16
9	0,0943	3,4130	0,3165	17,18	0,3750	0,8292	2,4900	17,18
10	0,0566	1,9724	0,9009	19,20	0,2500	3,6765	0,4100	19,20
11	-	-	-	-	0,1500	3,0675	3,5100	21,22
12	-	-	-	-	0,1750	2,2026	5,6000	23,24
13	-	-	-	-	0,2250	4,2553	0,5000	25,26
14	-	-	-	-	0,1750	1,0493	1,1000	27,28

По данным табл. 1 построены расчетные и экспериментальные осциллограммы входного и выходного сигналов неровноты

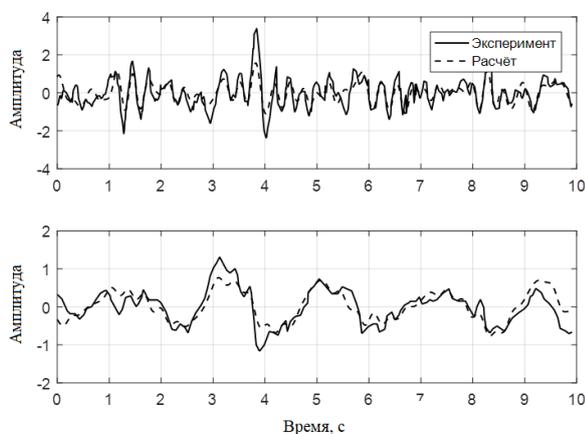


Рис. 3

(рис. 3) и спектры входного и выходного сигналов неровноты (рис.4).

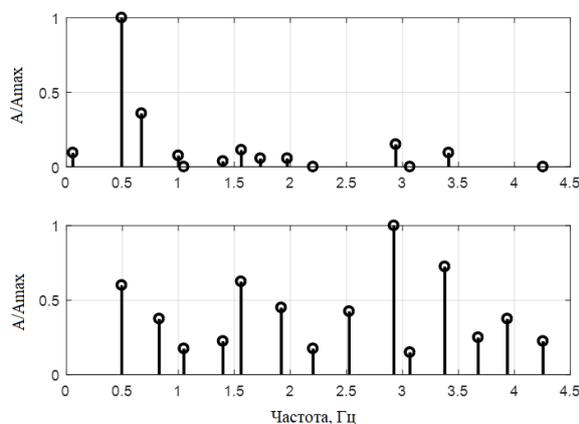


Рис. 4

Анализ осциллограмм показывает довольно высокую точность ССА, несмотря на ограниченное число используемых временных рядов.

В отличие от традиционного спектрального анализа, основанного на разложении Фурье, ССА позволяет получить линейчатые спектры входного и выходного сигналов, содержащие только те гармоники, которые присутствуют в анализируемом сигнале, что значительно повышает разрешение по частоте и точность спектрального анализа.

## ВЫВОДЫ

1. Сингулярный спектральный анализ является мощным средством исследования неровноты продуктов прядения.

2. По сравнению со спектральным анализом, основанном на преобразовании Фурье, сингулярный спектральный анализ позволяет получать линейчатые спектры, содержащие только те гармоники, которые содержатся в исследуемом сигнале.

3. Кроме выделения периодических составляющих в сингулярном спектральном анализе появляется возможность выделения трендов и нерегулярных составляющих.

4. Ортогональность временных рядов, получаемых в результате ССА, дает возможность кроме трендов, периодических и регулярных составляющих выделять случайную составляющую неровноты.

5. Основным недостатком ССА является усложненный процесс автоматизации ССА, при этом требуется работа в реаль-

ном времени и необходимость интерактивного выделения временных рядов разложения для дальнейшего анализа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Севостьянов П.А., Ордов К.В. Основы анализа и моделирования данных в технике и экономике. – М.: Тисо Принт, 2015.
2. Севостьянов П.А. Компьютерное моделирование технологических систем и продуктов прядения. – М.: Информ-Знание. Типография "Наука", 2006.
3. Бриллинджер Л. Временные ряды. Обработка данных и теория. – М.: Мир, 1980.
4. Голяндина Н.Э. Метод "Гусеница" SSA: анализ временных рядов. – СПб.: СПб ун-т, 2004.
5. Севостьянов П.А., Баландин Е.А., Бутенко Т.С. Сингулярный спектральный анализ неравномерности структуры тканых полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 3. С.112...116.

## REFERENCES

1. Sevost'yanov P.A., Ordov K.V. Osnovy analiza i modelirovaniya dannykh v tekhnike i ekonomike. – М.: Tiso Print, 2015.
2. Sevost'yanov P.A. Komp'yuternoe modelirovanie tekhnologicheskikh sistem i produktov pryadeniya. – М.: Inform-Znanie. Tipografiya "Nauka", 2006.
3. Brillindzher L. Vremennyye ryady. Obrabotka dannykh i teoriya. – М.: Mir, 1980.
4. Golyandina N.E. Metod "Gusenitsa" SSA: analiz vremennykh ryadov. – SPb.: SPb un-t, 2004.
5. Sevost'yanov P.A., Balandin E.A., Butenko T.S. Singulyarnyy spektral'nyy analiz neravnomernosti struktury tkanykh poloten // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2010, № 3. S.112...116.

Рекомендована кафедрой автоматизации и управления ПензГТУ. Поступила 25.05.21.