

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор

ФКП «НТИИМ»

Н.П. Смирнов

« 12 » 2015 г.



### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

**на диссертацию Рабая Фуада по теме**

**«Исследование особенностей анализа и прогнозирования**

**нестационарных временных рядов методом SSA**

**(на примере астрофизических и экономических временных рядов),  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности 05.13.01. – Системный анализ, управление и  
обработка информации (в науке и технике)**

#### **Актуальность темы исследования**

Инструментом исследования сложных систем и процессов, протекающих в окружающем нас мире, являются математические модели, описывающие статистические зависимости между величинами. Однако опыт показывает, что с течением времени под воздействием тех или иных факторов (возможно случайных), скрытых от наблюдателя, состояние системы или процесса, а соответственно и их математические модели будут изменяться во времени.

В этой связи приходится строить более сложные математические модели, в которых сходная информация, используемая для построения данных моделей и оценки их адекватности, представляет собой временные ряды (ВР) – последовательности результатов измерений текущих значений одного или нескольких параметров, проводимых в упорядоченные моменты

времени. Для объяснения причин того или иного поведения сложной системы или процесса, породивших данный ВР, выявления и объяснения закономерностей их динамики приходится решать задачу анализа ВР. При этом в подавляющем большинстве случаев анализируемые ВР оказываются нестационарными.

Для прогнозирования эволюции состояния сложной системы или процесса, как правило, на основе результатов анализа ВР решается задача синтеза модели ВР, с помощью которой вычисляют прогнозируемые значения ВР. Необходимо отметить, что сегодня универсальных методов решения задач анализа и прогнозирования ВР не существует. В этой связи использование того или иного метода анализа и прогнозирования ВР требует проведения исследований с целью определения границ применимости выбранного метода, обоснования выбора параметров данного метода и оценивания точности получаемых результатов.

Цель диссертационной работы – исследование особенностей анализа и прогнозирования нестационарных временных рядов методом сингулярного спектрального анализа (Singular Spectrum Analysis – SSA) с целью разработки научно обоснованных рекомендаций по выбору параметров метода при анализе и прогнозировании нестационарных ВР и их проверки на примере астрофизических и экономических ВР является актуальной.

### **Научные результаты**

Для достижения поставленной цели автор поставил и решил следующие задачи:

1) Разработал научно обоснованные рекомендации по выбору параметров метода SSA при анализе и прогнозировании реальных ВР.

2) Провел экспериментальную апробацию разработанных рекомендаций по выбору параметров метода SSA при анализе и прогнозировании реальных астрофизических и экономических ВР.

3) Разработал алгоритм оценки точности прогнозирования нестационарных ВР методом SSA.

4) Получил количественные оценки точности прогнозирования нестационарных ВР, содержащих среднемесячные значения чисел Вольфа, а также часовых значений цен на электроэнергию на оптовом рынке электрической мощности (ОРЭМ).

К основным новым результатам, полученным в диссертации, можно отнести:

1. Обоснование критерия выбора значений параметров метода SSA, обеспечивающих идентичность главных компонент временного ряда, содержащего дискретные значения периодической функции, и составляющих исходного ВР.

2. В задаче анализа временного ряда вида  $F_N = F_N^{(1)} + F_N^{(2)}$ :

2.1. Обоснование возможности упрощения процесса разделения рядов  $F_N^{(1)}$ ,  $F_N^{(2)}$  за счет вычисления и анализа зависимости разности между соответствующими собственными числами выборочной траекторной матрицы метода SSA, номера которых отличаются друг от друга на единицу, от значения параметра  $L \cdot \Delta t$ , где  $L$  – размер окна сдвига,  $\Delta t$  – период дискретизации анализируемого временного ряда.

2.2. Уточнил понятия сильной и слабой разделимостей рядов  $F_N^{(1)}$ ,  $F_N^{(2)}$ .

2.3. На основе статистического моделирования провел исследование проблемы разделимости ВР вида «шум + const», «шум + периодическая составляющая», «шум + тренд» при различных отношениях сигнал/шум.

3. Предложил алгоритм исследования точности прогнозирования ВР методом SSA.

4. Предложил алгоритм выбора собственных троек траекторной матрицы ВР, используемых для прогнозирования значений ВР.

5. Провел экспериментальное исследование особенностей прогнозирования ВР методом SSA и доказал, что для краткосрочного

прогнозирования нестационарных ВР следует использовать полином, аппроксимирующий изучаемый ВР. При этом обосновал, что значения данного полинома должны вычисляться по ВР, восстановленному по набору собственных троек траекторной матрицы метода SSA, выбираемых в соответствии с предложенным в работе алгоритмом.

### **Обоснованность и достоверность полученных результатов**

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается обоснованным применением методов статистического моделирования, математической статистики, метода SSA, их согласованностью с соответствующими результатами, полученными другими известными методами анализа ВР.

Также в пользу обоснованности результатов исследования говорит проведенный анализ публикаций по теме исследования, список которых содержит 117 наименований. Материалы работы докладывались на следующих научных конференциях: Международной научно-практической конференции «СВЯЗЬ-ПРОМЭКСПО 2011», Екатеринбург, 2011 г.; Международной научной конференции «Современные телекоммуникационные системы и компьютерные сети: перспективы развития», Санкт-Петербург, 2011 г.; Международной заочной научной конференции «Наука и образование в XXI веке», г. Тамбов, 2012 г.; 25-й Крымской микроволновой конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», г. Севастополь, 2015 г.

По результатам исследований опубликовано 6 печатных работ, из которых в рекомендованных ВАК РФ периодических изданиях – 2.

### **Значимость полученных автором результатов**

Теоретическая значимость диссертационного исследования состоит в обосновании критерия выбора значений параметров метода SSA, обеспечивающих идентичность главных компонент временного ряда,

содержащего дискретные значения периодической функции, и гармонических составляющих ряда Фурье; уточнении понятия сильной и слабой разделимости рядов вида  $F_N = F_N^{(1)} + F_N^{(2)}$ ; обосновании алгоритма выбора собственных троек траекторной матрицы ВР, используемых для прогнозирования значений ВР.

Практическая ценность выполненных исследований подтверждается:

– результатами анализа ВР, содержащего среднемесячные значения чисел Вольфа, и ВР, содержащего часовые значения цен на электроэнергию на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ), методом SSA, которые подтверждают целесообразность использования зависимости разности между соответствующими собственными числами выборочной траекторной матрицы метода SSA, номера которых отличаются друг от друга на единицу, от значения параметра  $L \cdot \Delta t$ ;

– обоснованием рекомендаций по выбору параметров метода SSA, обеспечивающих наилучшую точность прогнозирования ВР, содержащего среднемесячные значения чисел Вольфа, и ВР, содержащего часовые значения цен ОРЭМ, методом SSA;

– полученными оценками точности прогнозирования методом SSA ВР, содержащего среднемесячные значения чисел Вольфа, и ВР, содержащего часовые значения цен на электроэнергию на ОРЭМ.

Результаты диссертационного исследования использованы в ФГОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина» при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Информационные системы и технологии», в ООО «Октоника» при разработке информационно-аналитических систем.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов**

Разработанные алгоритмы целесообразно использовать в ходе анализа и прогнозирования ВР различной природы, а также включить их в библиотеку программного обеспечения информационно-аналитических систем.

### **Замечания**

1. В тексте работы имеется небольшое количество опечаток и стилистических неточностей.

2. В работе не сформулирован единый критерий, используя который можно оценивать правильность разделения главных компонент произвольных ВР.

3. В работе проведен анализ делимости смеси белого шума и шума с равномерным законом распределения. С нашей точки зрения, несомненный интерес представляет проведение аналогичных исследований для случая, когда отсчеты шума оказываются коррелированными друг с другом.

4. Результаты диссертации позволяют сделать вывод о том, что метод SSA является инструментом краткосрочного прогнозирования. В каком направлении следует модернизировать данный метод, чтобы создать инструмент долгосрочного прогнозирования?

### **Заключение**

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на достаточно высоком научном уровне. Она содержит новые научно обоснованные результаты и имеет практическую ценность.

Диссертация изложена логичным языком, оформлена в соответствии с требованиями ВАК, все сделанные в ней выводы аргументированы. Работа имеет внутренне единство, и написана единолично, что свидетельствует о личном вкладе в науку.

Полученные в работе результаты достоверны. Основные результаты диссертации опубликованы в научных журналах и представлены в трудах профильных конференций.

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике).

Автореферат отражает содержание диссертации.

На основании выше изложенного, можно сделать вывод о том, что данная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Рабайя Фуад достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике).

Отзыв составлен и утвержден по результатам обсуждения на заседании ученого совета ФКП «Нижнетагильский институт испытания металлов». Протокол № 5 от 23.11.2015г.

Начальник отдела № 22, к.т.н.

В.В. Лупарев

Главный научный руководитель, д.т.н.



В.Л. Руденко