

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Пономаревой Ольги Владимировны

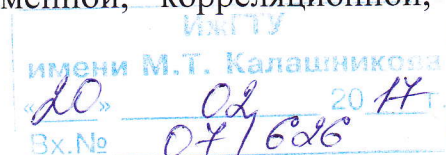
«Развитие теории и разработка методов и алгоритмов цифровой обработки информационных сигналов в параметрических базисах Фурье»,  
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике)»

### Актуальность темы диссертации

Цифровые методы обработки информационных сигналов, благодаря своим преимуществам, (обеспечению гарантированной точности, идеальной воспроизводимости результатов, существованию эффективных методов и алгоритмов обработки), в настоящее время широко применяются во многих областях науки и техники и спектр их приложений постоянно расширяется.

Роль и место цифровых информационных сигналов, методов и алгоритмов их обработки при решении задач системного анализа сложных технических систем, обеспечения их эффективного функционирования, управления ими, трудно переоценить. Действительно, информационные сигналы, формируемые той или иной системой, несут основную информацию о происходящих процессах и явлениях в сложном прикладном объекте, характеризуют динамические свойства исследуемого объекта и его состояние. Другими словами информационные сигналы обладают большой информативностью и результаты их обработки во многом определяют повышение эффективности и качества технических систем.

Несомненный интерес представляет, разработанная автором классификация методов цифровой обработки информационных сигналов (ИС), согласно которой методы разделены на три большие группы: классические, неклассические методы и вейвлетный анализ. Безусловно, как и любая классификация, она несколько условна, но важно отметить, что введенная классификация позволила автору вычленить то общее, что объединяет классические методы, что лежит в основе обработки ими информационных сигналов различного вида, различной структуры, в различных областях обработки (временной, корреляционной,



частотной, частотно-временной). В диссертации показано, что искомое общее – это прямое дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и обратное дискретное преобразование Фурье (ОДПФ).

Следует согласиться с выводами автора, сделанными им на основе системного анализа приложений вышеназванных трех групп методов цифровой обработки о том, что классические методы цифровой обработки ИС (несмотря на их принципиальные недостатки):

- сохраняют свою ведущую роль и эффективность своих приложений практически во всех предметных областях;
- они применимы почти ко всем классам стационарных и смешанных ИС;
- оценки, полученные классическими методами, являются робастными и наиболее эффективными с вычислительной точки зрения за счет применения быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Можно согласиться с автором и в том, что результаты практического применения классических методов обработки могли бы быть существенно более значимыми, если бы не их принципиальные недостатки (проявление эффектов наложения, частотола, утечки, гребешкового эффекта), которые вытекают как из природы ДПФ и ОДПФ, так и из аналитических и стохастических свойств базиса дискретных экспоненциальных функций (ДЭФ). В диссертации вскрыта причина недостаточной эффективности методов борьбы с указанными принципиальными недостатками ДПФ (и ОДПФ) и сформулирована научная проблема развития теории и разработки новых и совершенствованию существующих методов и алгоритмов цифровой обработки информационных сигналов.

С учетом того, что в настоящее время отсутствуют даже теоретическая база для решения указанной проблемы, тема диссертационной работы Пономаревой О.В., является актуальной, а ее научные и практические результаты имеют большое значение для проведения научных и прикладных исследований во многих предметных областях.

### **Оценка содержания диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и 3 приложений. Общий объем работы – 357 страниц, включая 93 рисунка и 5 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулирована проблема, имеющая важное хозяйственное значение, определена цель и направления научных и прикладных исследований, которые способствуют ее достижению. Рассмотрены вопросы научной новизны и практической значимости диссертационной работы, достоверности и обоснованности полученных в диссертационной работе результатов. Дана общая характеристика содержания диссертации.

**Содержание первой главы** отвечает требованию проведения сравнительного анализа современных достижений в области обработки информационных сигналов и определения причин неэффективности существующих методов и алгоритмов. Автор, рассматривая классические методы обработки информационных сигналов как систему, сформулировал на базе системного подхода (опираясь на системную парадигму) проблему и проблематику цифровой обработки информационных сигналов в базисе Фурье, что позволило определить и обосновать задачи диссертационного исследования. Решение сформулированной проблемы осуществляется на базе системного анализа, с позиции классического кибернетического подхода, основанного на концепции «черного ящика».

В настоящее время арсенал методов и алгоритмов обработки информационных параметров, применяемых при обработке ИС в различных областях научных и прикладных исследований, достаточно велик. При этом выбор тех или иных информационных параметров (или их набора) для эффективного решения конкретной научно-технической задачи (или круга задач) во многом определяется применяемыми частотными моделями информационных сигналов. Автором, на основе анализа структур существующих в различных предметных областях частотных моделей ИС, предложена обобщенная частотная модель ИС, что предопределяет широкие приложения полученных в диссертации результатов

**Вторая глава** диссертации посвящена разработке теоретических основ и методов и алгоритмов цифровой обработки ИС в параметрических базисах Фурье.

В главе показано, что широкое применение ДПФ и ОДПФ в классических методах обработки основано, прежде всего, на двух моментах: фундаментальном свойстве инвариантности экспоненциального базиса к циклическому сдвигу и на мультипликативности базисной системы ДЭФ по обоим переменным, что дает возможность построения быстрых преобразований – быстрых преобразований

Фурье (БПФ). В главе дан анализ проблем, возникающих при практическом применении ДПФ и ОДПФ и предложены пути их решения.

Важными результатами главы является разработка параметрического дискретного преобразования Фурье (ДПФ-П), модифицированного параметрического дискретного преобразования Фурье (МДПФ-П) и скользящего параметрического дискретного преобразования Фурье (СДПФ-П), исследование их аналитических свойств, обоснование целесообразности их применения для обработки сложных информационных сигналов. Основные выводы о преимуществах разработанных преобразований иллюстрируются результатами экспериментов на модельных сигналах.

На основе введенной автором процедуры цифровой блочной обработкой с накоплением (ЦБОН) и ее модификаций, разработаны обобщения алгоритма Герцеля, обеспечивающие высокую разрешающую способность предложенных алгоритмов по частоте, устойчивости их работы и полный контроль над их резонансной частотой.

Представляет большой интерес и открытый автором эффект неинвариантности энергетического спектра действительного гармонического сигнала в классическом и параметрических базисах Фурье, что дает возможность оценить потенциальную точность цифровой обработки информационных сигналов в дискретных базисах Фурье.

**В третьей главе** диссертационного исследования излагаются теоретические основы и методы цифровой обработки стационарных (по А.Я. Хинчину) случайных информационных сигналов в параметрических базисах Фурье.

В главе даны конкретные рекомендации по применению полученных результатов, сформулированные, в том числе за счет четкого разграничения двух видов оценок теоретико-вероятностных характеристик случайных ИС: выборочных оценок и оценок, рассматриваемых как случайные величины, а также определения аксиом их измерения.

Важными научными и прикладными результатами главы являются: исследование стохастических свойств ДПФ-П, разработка аperiodического дискретного преобразования Фурье (АДПФ), а также рассмотрение методологических аспектов их приложений.

Предлагаемые автором теоретические основы цифровой обработки случайных ИС можно также оценить и как значительный вклад в развитие теории статистических измерений, основы которой были заложены Цветковым Э.И.

**Четвертая глава** диссертации посвящена развитию важнейшего раздела теории цифровой обработки информационных сигналов – теоретическим основам обработки мгновенных параметров дискретных ИС.

Выбор математического аппарата определения мгновенных параметров дискретных ИС (различного типа и различной структуры) который бы давал однозначные, с физической точки зрения, результаты, является и на настоящий момент важной и актуальной проблемой, результаты решения которой важны как для теории так и практики обработки ИС. Отметим, что различные подходы к определению мгновенных параметров действительного ИС связаны с выбором оператора, с помощью которого действительному ИС ставится в соответствие мнимый ИС. В классическом случае это преобразование Гильберта, которое не обладает свойством локальности и, следовательно, так как огибающие ИС не являются финитными функциями, приводит к существенной потере точности результатов измерения огибающей ИС.

Важным результатом главы является решение указанной проблемы путем обобщений дискретного преобразования Гильберта, разработки модификаций дискретного преобразования Гильберта и обобщенного дискретного преобразования Гильберта, проведении исследований их аналитических свойств, а также создании соответствующих алгоритмов обработки ИС

**В пятой главе** диссертационного исследования автор изложил результаты разработки быстрых алгоритмов реализации ДПФ-П (в том числе и алгоритмов БПФ) действительных, комплексных ИС и ИС большой длительности в реальном масштабе времени.

Для эффективной реализации преимуществ ДПФ-П по сравнению с ДПФ, необходимы быстрые процедуры его реализации (аналогичные БПФ), поскольку данное преобразование (как и преобразование ДПФ) требует выполнения  $N^2$  комплексных умножений, что приводит к необоснованно быстрому росту вычислительных затрат с ростом  $N$ .

Автор доказал, что такие алгоритмы существуют (автор назвал их по аналогии с алгоритмами БПФ алгоритмами БПФ-П), разработал их структуру, что является крайне важным научным и практическим результатом. Предложены алгоритмы БПФ-П как с замещением (in place), так и без замещения (no place) на основе факторизации матрицы ДЭФ-П.

**Шестая глава** посвящена приложениям различных предметных областях в разработанных в диссертации методов и алгоритмов цифровой обработки ИС в параметрических базисах Фурье.

Глава содержит результаты реализации методов и алгоритмов, разработанных автором в предыдущих разделах диссертации, на основе новой информационной технологии – технологии виртуальных приборов, разрабатываемых в программно-инструментальной среде LabVIEW.

Показано, что в программно-инструментальной среде LabVIEW универсальность комплекса *«объект – измерение – обработка»* достигается простой заменой соответствующего математического и алгоритмического и программного обеспечения методов, разработанных автором. Это позволяет обрабатывать и создавать системы обработки ИС практически любой сложности, уменьшив затраты и время на их разработку, повысив их качество.

Приведены результаты внедрения систем обработки ИС, разработанных в диссертационном исследовании, порождаемых прикладными объектами различной сложности: в информационно-управляющей системе комплексной безопасности ОАО «Чепецкий механический завод», двигателями внутреннего сгорания, новой гаммой станков 250 ИТП, 250 ИТВ, 250 ИТВФ 1, авиационными пушками 9А-4071К, 9А-768.

**В заключении** сформулированы основные научные и практические результаты диссертационной работы.

**В приложениях** представлены материалы, поясняющие специфику цифровой обработки ИС, приведены частотные модели виброакустических сигналов различных элементов механических систем и акты внедрения научных и практических результатов диссертационного исследования.

Анализ содержания диссертации позволяет сделать вывод о достижении автором поставленной цели и решении основных и частных задач диссертационного исследования.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации Пономаревой О.В. заслуживает самой высокой

оценки, так как она обеспечена строгими математическими доказательствами свойств разработанных автором преобразований, разработкой быстрых алгоритмов их реализации; сопоставлением результатов теоретических исследований с экспериментальными данными, а также уровнем применяемых автором теорий и методов при решении теоретических и практических проблем обработки ИС

Высокая степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации Пономаревой О.В. подтверждается их представительным обсуждением в научных изданиях, на 38 международных, всесоюзных и всероссийских научных конференциях, а также актами внедрения, разработанных автором методов, алгоритмов и систем обработки ИС, на производственных объединениях «Ижевский механический завод», «ИЖМАШ» и «Чепецкий механический завод».

### **Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научные положения, выводы и рекомендации диссертационного исследования Пономаревой О.В. обладают необходимым уровнем достоверности и новизны.

Сформулированные в диссертационном исследовании научные положения, выводы и рекомендации основаны на новых базисах – базисах параметрических дискретных экспоненциальных функций (ДЭФ-П), которые предложены, исследованы и введены в практику цифровой обработки ИС автором.

Перспективность дальнейших исследований в данном научном направлении не вызывает сомнения.

Следующие научные результаты следует выделить как новые и существенные для обработки ИС.

#### **1. Разработка таких дискретных преобразований как:**

- параметрическое дискретное преобразование Фурье;
- аперидическое дискретное преобразование Фурье;
- скользящее параметрическое дискретное преобразование Фурье;
- модифицированное параметрическое дискретное преобразование Фурье;

- модифицированное дискретное преобразование Гильберта;
  - обобщенное дискретное преобразование Гильберта;
  - модифицированное обобщенное дискретное преобразование Гильберта.
2. Разработка методов цифровой блочной обработки с накоплением. и обобщение структуры гребенчатого фильтра.
  3. Открытие эффекта неинвариантности энергетического спектра действительных гармонических сигналов в классическом и параметрических базисах Фурье.
  4. Разработка быстрых алгоритмов обработки ИС во временной, корреляционной, частотной и частотно-временной областях в параметрических дискретных базисах Фурье.
  5. Развитие теории цифровой обработки ИС различного типа и различной структуры.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждена опубликованием автором более 100 научных работ из них:

- монография без соавторов,
- 7 статей в журналах, входящих в международную реферативную базу данных и систему цитирования *Scopus*,
- 11 статей в журналах, составляющих ядро коллекции Российского индекса научного цитирования *Science Index* (РИНЦ), которое размещено на платформе *Web of Science* как *Russian Science Citation Index* (RSCI),
- 27 статей в журналах, входящих в перечень ВАК РФ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

Практическая значимость и полезность научных и прикладных результатов, полученных в диссертации подтверждается актами их внедрения.



## **Замечания по диссертационной работе**

1. Автор рассматривает классические методы обработки ИС как систему и на базе системного подхода формулирует научную проблему, решаемую в диссертации. На мой взгляд, следовало бы больше внимание уделить и проблематике т.е. множеству других проблем, находящихся в отношениях и связях с решаемой основной проблемой и решение которых существенным образом зависит от решения основной проблемы.
2. Во второй главе автором для обработки ИС, спектры которых меняются во времени разработано параметрическое скользящее ДПФ-П. Почему не рассмотрено введение «скачущего ДПФ-П», по аналогии с существующим скачущим ДПФ?
3. При характеристике, выделенных автором направлений научных и прикладных исследований, альтернативных классическим методам цифровой обработки ИС, недостаточно внимание уделено их анализу (в том числе и критическому), что позволило бы автору выявить применение ДПФ и в этих методах, со всеми вытекающими отсюда последствиями.
4. В тексте диссертационной работы и автореферате диссертации имеются опечатки и некоторые стилистические погрешности.

## **Заключение**

Диссертация Пономаревой Ольги Владимировны является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения в области цифровой обработки информационных сигналов, совокупность которых можно квалифицировать как решение научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации, в нем с достаточной полнотой изложены основные идеи и выводы диссертационной работы, степень новизны и практическая значимость результатов исследований, приведенный в автореферате список публикаций автора отражает основные результаты диссертации.

Степень обоснованности, научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационном исследовании, высокая, а их достоверность и новизна не вызывает сомнения.

Диссертационная работа удовлетворяет требованиям пунктов 9, 10, 11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено Постановлением Правительства РФ № 842 от 24. 09. 2013 с изменениями, утвержденными Постановлением Правительства РФ № 335 от 21. 04. 2016), а ее автор Пономарева Ольга Владимировна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике).

### Официальный оппонент

Заведующий кафедрой радиоэлектронных и квантовых устройств  
Казанского национального исследовательского технического университета  
им. А.Н. Туполева,  
доктор технических наук (специальность 01.04.05), профессор  
Заслуженный деятель науки РФ



Ильин Герман Иванович

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 года



Адрес, включая адрес электронной почты:

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева (КНИТУ - КАИ им. А.Н. Туполева),  
420111, Казань ул. К. Маркса, дом 10,  
телефон/факс: (843) 238-40-67, email: [had6@mail.ru](mailto:had6@mail.ru)

Подпись д.т.н., профессора Ильина Г.И. заверяю  
Ученый секретарь ученого совета  
КНИТУ - КАИ им. А.Н. Туполева



Жестовская Ф. А.