

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора  
Батищева Виталия Ивановича  
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)»

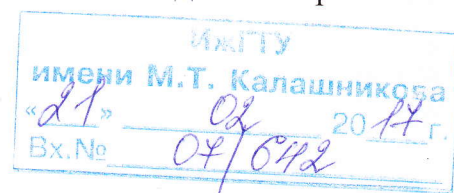
### Актуальность темы диссертации

В диссертации Пономаревой О.В. решается важная и актуальная проблема развития теории цифровой обработки информационных сигналов, на основе которой автор проводит разработку новых и совершенствование существующих методов и алгоритмов анализа, и обработки информации.

При исследовании объекта как системы, прежде всего, проводят изучение его информационных аспектов. Такой подход объясняется тем, что одним из главных носителей информации о системных связях, закономерностях функционирования, о процессах, состояниях и явлениях, происходящих в исследуемом объекте, являются генерируемые им сигналы различной физической природы.

Требования повышения эффективности, надежности и качества выпускаемых и вновь разрабатываемых технических систем ставят во главу угла необходимость решения актуальной научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение – проблемы развития теоретических основ цифровой обработки потоков информации, создания эффективных методов и алгоритмов цифровой обработки информационных сигналов (ЦОИС) во временной, корреляционной, частотной и частотно-временной областях.

Следует отметить важность и актуальность решения этой научной проблемы для теории и практики ЦОИС, а также многочисленных приложений методов, алгоритмов и средств ЦОИС. Поэтому поиск (синтез) адекватных решаемым задачам базисных систем является приоритетной задачей обработки дискретных ИС (ДИС).



В практике цифровой обработки ДИС наибольшее применение получила базисная система дискретных экспоненциальных функций (ДЭФ), разложение по которой определяется как дискретное преобразование Фурье (ДПФ), которое является основой классических методов ЦОИС.

Разработанные в 1965 году Джимом Кули и Джоном Тьюки алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ) (*Cooley J. W., Tukey J. W. An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. Math. Comput, vol. 19, pp. 297—301, April 1965.*), позволившие эффективно вычислять ДПФ, значительно расширили сферу приложений классических методов ЦОИС.

Однако ДПФ кроме преимуществ обладает и рядом недостатков, которые проявляются при ЦОИС в виде нежелательных эффектов (эффект утечки, частотола, наложения, гребешковый эффект и др.), которые существенно снижают результативность решения задач ЦОИС классическими методами.

Существующие в настоящее время методы и алгоритмы борьбы с этими эффектами ЦОИС такие, например, как взвешивание исходных последовательностей временными, частотными и корреляционными окнами, дополнение исходных последовательностей нулевыми отсчетами направлены, прежде всего, на борьбу со следствиями проявления этих негативных эффектов.

Автор диссертационного исследования предлагает новый, неизвестный в теории и практике ЦОИС, подход к решению указанной проблемы. А именно: выявление на основе системного анализа путей борьбы с причинами (а не следствиями) возникновения нежелательных эффектов ЦОИС классическими методами с последующей разработкой (на основе результатов системного анализа) новых и совершенствование существующих методов и алгоритмов ЦОИС, которые обладали бы функциональными возможностями по подавлению или устранению негативных эффектов ЦОИС классическими методами.

Автор диссертационного исследования доказал, что причины недостатков классических методов ЦОИС вытекают как из природы ДПФ, так и из аналитических и стохастических свойств его базиса – базиса ДЭФ. Откуда автором сделан совершенно справедливый вывод о необходимости обобщения базиса ДЭФ с целью подавления или устранения недостатков ЦОИС классическими методами.

Следует заметить, что с момента появления ДПФ не было даже попыток обобщения базиса ДЭФ. Предпринятые попытки построения основ линейной теории дискретных сигналов и цепей, заданных на конечном множестве точек (*Трахтман А.М. Трахтман В.А. Основы теории дискретных сигналов на*



конечных интервалах / М.: Сов.радио.-1975.-208 с.; Пойда В.Н. Спектральный анализ в дискретных ортогональных базисах / Под ред. М.П.Чеголина. Минск: Наука и техника, 1978. -136 с.), основаны на введении новых базисов – базисов дискретных функций Виленкина-Крестенсона (ВКФ) с  $m$ -ичной арифметикой, (при  $m = N$  базис ВКФ переходит в базис ДЭФ), а не на обобщении базиса ДЭФ.

Обобщение базиса ДЭФ является серьезной математической и практической проблемой и до настоящего времени отсутствовали теоретические основы, позволяющие решать такого класса задачи. Поэтому тема диссертации «Развитие теории и разработка методов и алгоритмов цифровой обработки информационных сигналов в параметрических базисах Фурье» является важной и актуальной.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

В диссертации автором достаточно полно проведено обоснование необходимости обобщения базиса ДЭФ для достижения цели диссертационной работы.

Обоснованность полученных в диссертационной работе научных результатов, выводов и рекомендаций обеспечена строгими математическими доказательствами аналитических и стохастических свойств разработанных автором преобразований ДИС, а также доказательством существования быстрых алгоритмов их реализации; подтверждена сопоставлением результатов теоретических исследований с экспериментальными данными, полученными как в реальных условиях, так и моделированием.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается и уровнем используемых автором методов исследований.

Теоретическая часть диссертационной работы выполнена автором на основе теории систем и системного анализа, теории информации, теории цифровой обработки сигналов, теории цифрового векторного и спектрального анализа, теории сигналов на конечных интервалах, теории матриц, теории вероятностей, теории математического моделирования, теории дискретного преобразования Фурье, теории дискретного параметрического преобразования Фурье.

Практическая часть диссертационной работы выполнена автором на основе методологии проектирования технических систем. При расчетах и моделировании использовались программная среда проектирования

инженерных приложений MATLAB и программно-инструментальная среда LabVIEW. Экспериментальные исследования проводились в процессе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и приёмо-сдаточных испытаний в производственных условиях разработанных средств обработки информационных сигналов.

Выдвинутые в диссертации научные положения, выводы и рекомендации подтверждены также и их представительным обсуждением в научных изданиях, на научных конференциях международного и российского уровней, а также внедрением полученных в диссертации научно-технических решений в производство систем ЦОИС различного назначения

### **Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Сформулированные в диссертационном исследовании научные положения выводы и рекомендации в совокупности образуют новое научное направление цифровой обработки сигналов (ЦОС), основанное на новых базисах – базисах параметрических дискретных экспоненциальных функций (ДЭФ-П). Перспективность дальнейших исследований в рамках данного научного направления определяется спектром нерешенных проблем в различных предметных областях, которые до сих пор не решены классическими методами ЦОИС.

Степень достоверности, новизны научных положений, выводов и рекомендаций во многом определяется тем, что впервые проблема повышения эффективности классических методов ЦОИС поставлена как проблема борьбы с причинами появления недостатков классических методов ЦОИС (а не следствиями как это было до сих пор в ЦОИС).

Все научные положения, выводы и рекомендации диссертационного исследования Пономаревой О.В. обладают необходимой степенью достоверности и новизны.

Следующие научные результаты следует выделить как новые и существенные.

1. Разработаны преобразования, которые позволяют в отличие классических методов ЦОИС проводить ЦОИС в корреляционной, частотной и частотно-временной областях не на фиксированных множествах частот, а на регулируемом множестве частот:

- параметрическое дискретное преобразование Фурье;



- аперриодическое дискретное преобразование Фурье;
- скользящее параметрическое дискретное преобразование Фурье.

2. Введена в рассмотрение и исследована базисная система модифицированных параметрических дискретных экспоненциальных функций, на основе которой предложено модифицированное параметрическое дискретное преобразование Фурье, позволяющее решать проблемы обработки сигналов, порождаемые эффектом частотокола во временной области.

3. На основе параметрического ДПФ предложено обобщение дискретного преобразования Гильберта, что позволило разработать:

- модифицированное дискретное преобразование Гильберта;
- обобщенное дискретное преобразование Гильберта;
- модифицированное обобщенное дискретное преобразование Гильберта.

Разработанные методы преобразования, которые в отличие от стандартного дискретного преобразования Гильберта учитывают свойства локальности данного преобразования, позволили повысить точность измерения огибающих информационных сигналов минимум на порядок.

4. Разработаны методы цифровой блочной обработки с накоплением, на основе которых проведено обобщение метода Герцеля. Разработанные методы позволили проводить цифровую спектральную обработку информационных сигналов, как на целых, так и дробных частотах, обеспечив при этом высокую частотную разрешающую способность и устойчивость.

5. Проведено обобщение структуры гребенчатого фильтра, что позволило решить проблему погрешностей коэффициентов фильтров на основе частотной выборки, не теряя при этом одного из важнейших достоинств данного вида фильтров – возможности рекуррентного получения результатов фильтрации.

6. Автором установлено отсутствие инвариантности скользящего энергетического спектра действительных гармонических сигналов временному сдвигу в классическом и параметрических базисах Фурье, что позволило оценить потенциальную точность обработки информационных сигналов в дискретных базисах Фурье.

7. Разработаны быстрые алгоритмы обработки информационных сигналов во временной, корреляционной, частотной и частотно-временной областях в параметрических дискретных базисах Фурье, практическое применение которых не требует изменения структуры алгоритма классического БПФ.

Разработанные теоретические основы цифровой обработки информационных сигналов во временной, корреляционной, частотной и частотно-временной областях в параметрических дискретных базисах Фурье

являются базой создания новых и совершенствования существующих методов повышения эффективности, надежности и качества технических систем в различных областях науки и техники.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 235 наименований и 3 приложений. Общий объем работы – 357 страниц, включая 93 рисунка и 5 таблиц.

По материалам диссертации опубликовано более 100 печатных 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.

Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы докладывались на 38 международных, всесоюзных и всероссийских научных конференциях

### **Практическая значимость и полезность научных и прикладных результатов, полученных в диссертации**

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

- в производственных объединениях «Ижевский механический завод» и «Ижмаш» систем ЦОИС, которые обеспечили повышение качества выпускаемой данными объединениями продукции;
- в ОАО «Чепецкий механический завод» (Удмуртия) при выполнении НИР по Федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по теме «Принципы контроля оптических сред в биологии и экологии с использованием методов обработки результатов измерений на основе квантификационных моделей»;



- в ОАО «Чепецкий механический завод» (Удмуртия) при разработке системы «Совершенствование информационно-управляющей системы комплексной безопасности (ИУСКБ)»;
- при реализации Федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации»;
- в учебном процессе в ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» («ИжГТУ имени М.Т. Калашникова») на кафедре «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики» для студентов направления 12.03.01 «Приборостроение» специальности «Приборы и методы контроля качества и диагностики», магистрантов по программам подготовки 12.04.01–1 «Приборы, системы и изделия биомедицинского назначения», 12.04.01–2 «Приборы и методы контроля окружающей среды, веществ, материалов, изделий».

Практическая значимость научных и прикладных результатов, полученных в диссертации, определяется перспективностью применения теории, методов и алгоритмов цифровой обработки информационных сигналов в параметрических базисах Фурье, разработанных в диссертации во многих приложениях различных предметных областях.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В разделе 1.4, посвященном проблемам цифровой обработки сигналов в базисе Фурье и задачам исследования, вместо рассмотрения проблем по существу автор много внимания уделил объяснению понятий «системной терминологии» (с. 44 – 49). Этот вопрос уже перестал быть дискуссионным. Цели, задачи и содержание системной методологии понятны и достаточно четко формулируются для различных приложений, в том числе и для рассматриваемого в данной работе.
2. В диссертации показано (формулы (3.2), (3.24), (3.27) и (3.31)), что цикличность корреляционной функции (3.25) является результатом наложения в корреляционной области циклических корреляционных функций из-за дискретизации энергетического спектра с частотой в два раза меньшей, чем требуется при каноническом разложении Пугачева. Однако, этот эффект не остался без должного внимания. Развивая и исследуя его, автор мог бы получить интересные результаты.

3. Автору следовало бы более полно отразить причины проявления негативного влияния эффектов, сопровождающие применение ДПФ в ЦОИС, иллюстрируя это примерами для ДИС различной структуры.
4. Выводы некоторых математических соотношений (см., например, вывод формул (2.50), (3.22), (3.63) и др.) с промежуточными преобразованиями следовало бы вынести в приложения, что облегчило бы чтение основного материала диссертации и уменьшило ее объем.
5. При изложении материала по реализации методов и алгоритмов цифровой обработки информационных сигналов в параметрических базисах Фурье в программно-инструментальной среде LabVIEW (раздел 6.2 диссертации) не следовало бы приводить вновь, пусть и в краткой форме соответствующий математический аппарат, достаточно было бы ссылок на требуемые разделы диссертации.
6. При реализации приложений методов и алгоритмов ЦОИС в параметрических базисах Фурье было бы желательно использовать и отечественные программно-инструментальные среды, а не только LabVIEW.
7. В тексте работы редко, но встречаются повторы (см., например, страницы 22 и 23, страницы 6 и 22), есть опечатки (см., страницу 2 автореферата), в п. 2 выводов по первой главе пропущена фраза.

Однако отмеченные недостатки не снижают теоретическую ценность и практическую значимость диссертации.

### **Заключение**

Диссертация Пономаревой Ольги Владимировны является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как решение научной проблемы развития теории цифровой обработки информационных сигналов путем введения параметрических базисов Фурье, разработки новых и совершенствования существующих методов и алгоритмов цифровой спектральной обработки, имеющей важное хозяйственное значение.

Анализ содержания диссертации позволяет сделать вывод о достижении автором поставленной цели и решении основных и частных задач диссертационного исследования. Диссертация написана в форме, позволяющей получить достаточно ясное представление о целях, задачах, методах и результатах проведенных автором исследований.



Сформулированные автором выводы и заключения обоснованы, а их достоверность и новизна не вызывают сомнения.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации, в нем с достаточной полнотой изложены основные идеи и выводы диссертационной работы, степень новизны и практическая значимость результатов исследований.

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, с изменениями, внесенными Решением Верховного Суда РФ от 21. 04. 2014 N АКПИ14-115), 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 информационных технологий

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»

доктор технических наук (специальность 05.11.16), профессор

Батищев Виталий Иванович

«09» февр 2017 года

Адрес, включая адрес электронной почты:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет»  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, Сам ГТУ  
тел.: (846) 337-12-62, 337-12-74, email: vib@list.ru

Подпись официального оппонента заведующего кафедрой информационных технологий доктора технических наук, профессора Батищева В. И. заверяю:

Ученый секретарь

ФГБОУ ВО СамГТУ д.т.н.



Ю.А. Малиновская