

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.12, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 05 апреля 2017 года публичной защиты диссертации Сай Си Ту Мин «Разработка алгоритмов статистического анализа информационных сигналов со скачкообразным изменением характеристик в условиях параметрической априорной неопределенности» по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации) на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

На заседании присутствовали 14 из 21 члена диссертационного совета, в том числе 6 докторов наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации), физико-математические науки:

№ п/п	Фамилия, инициалы	Ученая степень	Специальность, отрасль науки в совете
1.	Горцев А.М., председатель	доктор технических наук	05.13.01, технические науки
2.	Назаров А.А., заместитель председателя	доктор технических наук	05.13.01, технические науки
3.	Тарасенко П.Ф., ученый секретарь	кандидат физико- математических наук	05.13.01, физико-математические науки
4.	Букреев В.Г.	доктор технических наук	05.13.01, технические науки
5.	Дмитренко А.Г.	доктор физико- математических наук	05.13.01, физико-математические науки
6.	Конев В.В.	доктор физико- математических наук	05.13.01, физико-математические науки
7.	Кошкин Г.М.	доктор физико- математических наук	05.13.01, физико-математические науки

8.	Матросова А.Ю.	доктор технических наук	05.13.01, технические науки
9.	Моисеева С.П.	доктор физико- математических наук	05.13.01, физико-математические науки
10.	Рожкова С.В.	доктор физико- математических наук	05.13.01, физико-математические науки
11.	Смагин В.И.	доктор технических наук	05.13.01, технические науки
12.	Спицын В.Г.	доктор технических наук	05.13.01, технические науки
13.	Удод В.А.	доктор технических наук	05.13.01, технические науки
14.	Шумилов Б.М.	доктор физико- математических наук	05.13.01, физико-математические науки

Заседание провёл председатель диссертационного совета доктор технических наук, профессор Горцев Александр Михайлович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Сай Си Ту Мин ученую степень кандидата физико-математических наук.

Заключение диссертационного совета Д 212.267.12
на базе федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства образования и науки Российской Федерации
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 05.04.2017, № 199

О присуждении **Сай Си Ту Мин**, гражданину Республики Союз Мьянма, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Разработка алгоритмов статистического анализа информационных сигналов со скачкообразным изменением характеристик в условиях параметрической априорной неопределенности»** по специальности **05.13.01** – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации) принята к защите 19.01.2017, протокол № 190, диссертационным советом Д 212.267.12 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012).

Соискатель **Сай Си Ту Мин**, 1984 года рождения.

В 2012 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

В 2016 году соискатель очно окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Работает в должности младшего научного сотрудника международной лаборатории статистики случайных процессов и количественного финансового

анализа в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре радиотехнических приборов и антенных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Чернояров Олег Вячеславович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», кафедра радиотехнических приборов и антенных систем, профессор.

Официальные оппоненты:

Корчагин Юрий Эдуардович, доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет», кафедра радиофизики, профессор (на момент назначения официальным оппонентом – доцент)

Кушнир Александр Федорович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук, лаборатория регистрации и интерпретации волновых полей, ведущий научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждения высшего образования «**Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**», г. Нижний Новгород, в своем положительном заключении, подписанном **Мальцевым Александром Александровичем** (доктор физико-математических наук, профессор, кафедра бионики и статистической радиофизики, заведующий кафедрой), указала, что известные к настоящему времени конструктивные результаты по обработке информационных процессов со скачкообразным изменением свойств в большинстве своем получены для

различных частных случаев при наличии существенных ограничений (на класс моделей информационного процесса, некоррелированность обрабатываемых отсчетов и пр.). Кроме того, достаточно часто синтез алгоритмов обнаружения и измерения момента скачкообразного изменения проводился в условиях полной априорной определенности относительно других параметров принимаемой реализации наблюдаемых данных. Во многих задачах при выполнении процедуры синтеза остается открытым вопрос о характеристиках полученных обнаружителей и измерителей разрывных сигналов, позволяющих аналитически оценить качество их функционирования. В этой связи диссертация Сай Си Ту Мин, посвященная синтезу новых, технически более простых по сравнению с имеющимися аналогами алгоритмов определения скачкообразных изменений свойств информационных процессов в условиях параметрической априорной неопределенности и разработке способов аналитического и экспериментального определения характеристик обнаружителей и измерителей сигналов с неизвестными разрывными параметрами, представляет интерес и является актуальной. Научная новизна полученных результатов заключается в разработке обобщенной методики статистического анализа информационных процессов со скачкообразным изменением свойств в неизвестный момент времени, позволяющая найти общие аналитические выражения для характеристик обнаружения и оценки (в том числе при нарушении свойства ее состоятельности) момента скачка с учетом возможных аномальных решений. Также новизной обладает предложенная методика синтеза алгоритмов обнаружения и измерения разладки статистических характеристик случайных процессов в условиях параметрической априорной неопределенности и полученные на ее основе универсальные и технически простые алгоритмы обнаружители и измерители скачкообразного изменения неизвестных энергетических параметров низкочастотных и высокочастотных быстрофлуктуирующих случайных процессов. Практическое приложение результаты диссертации могут найти в учреждениях, организациях и предприятиях радиотехнического комплекса при проектировании новых перспективных локационных и связанных систем, систем мониторинга сигналов сложной и априори неизвестной формы, систем телесигнализации и телеуправления и т.д.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 9 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 4 (из них 2 статьи в зарубежных научных журналах, индексируемых Web of Science и/или Scopus), монография – 1, публикаций в сборниках материалов международных научных и научно-технических конференций – 5 (из них 1 статья в сборнике материалов конференции, индексируемом Web of Science), Общий объем работ – 15,58 п.л., авторский вклад – 9,15 п.л.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в том числе статьи в зарубежных журналах, индексируемых Web of Science/Scopus:

1. Чернояров О. В. Разладка математического ожидания быстрофлуктуирующего гауссовского процесса с неизвестной интенсивностью / О. В. Чернояров, **Сай Си Ту Мин** // Вестник Московского энергетического института. – 2016. – № 4. – С. 135–142. – 0,5 / 0,35 п.л.

2. Chernoyarov O. V. Application of the local Markov approximation method for the analysis of information processes processing algorithms with unknown discontinuous parameters / O. V. Chernoyarov, **Sai Si Thu Min**, A. V. Salnikova, B. I. Shakhtarin, A. A. Artemenko // Applied Mathematical Sciences. – 2014. – Vol. 8, is. 90. – P. 4469–4496. – DOI: 10.12988/ams.2014.46415. – 1,75 / 1,0 п.л.

3. Chernoyarov O. V. Application of the local Markov approximation method for the analysis of information processes processing algorithms with unknown discontinuous parameters under violation of the consistency property of their estimates / O. V. Chernoyarov, **Sai Si Thu Min**, Yu. A. Guseva, B. I. Shakhtarin, A. A. Artemenko // Applied Mathematical Sciences. – 2014. – Vol. 8, no. 126. – P. 6267–6294. – DOI: 10.12988/ams.2014.48620. – 1,75 / 1,0 п.л.

Статья в сборнике материалов конференции, индексируемом Web of Science:

1. Chernoyarov O. V. Detection and estimation of abrupt changes in Gaussian random processes with unknown parameters / O. V. Chernoyarov, **Sai Si Thu Min**,

A. V. Salnikova, M. Kuba // IEEE. ELEKTRO 2014 : proceedings of the 10th International Conference. Rajecke Teplice, Slovak Republik, May 19-20, 2014. – Žilina, 2014. – P. 46–51. – DOI: 10.1109/ELEKTRO.2014.6847869. – 0,37 / 0,22 п.л.

Монография:

1. Чернояров О. В. Разрывные сигналы с неизвестными параметрами. Статистический анализ информационных процессов со скачкообразным изменением характеристик / О. В. Чернояров, А. В. Сальникова, **Сай Си Ту Мин**. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co. KG. – 172 с. – 10,75 / 6,25 п.л.

На автореферат поступили 6 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **С.В. Выборнов**, канд. техн. наук, консультант ЗАО «Специальные системы», г. Москва, *с замечаниями*: нечетко сформулированы количественные критерии для используемых в работе приближений при синтезе и анализе алгоритмов обработки разрывных сигналов; не указано, как изменятся полученные в работе результаты, если какое-либо из принятых автором допущений не выполняется на практике; формула (21) для вероятности пропуска разладки математического ожидания гауссовского процесса не следует из общей формулы (5) для вероятности пропуска сигнала с неизвестным разрывным параметром; методика синтеза алгоритмов обнаружения и измерения скачкообразного изменения параметров низкочастотных и высокочастотных гауссовских процессов основана на использовании лишь максимально-правдоподобного подхода; не рассмотрены возможности построения байесовских, робастных и других альтернативных алгоритмов обработки.

2. **А.Б. Токарев**, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры радиотехники Воронежского государственного технического университета, *с замечаниями*: в изложении первого раздела диссертации описание свойств разрывного параметра l является сугубо формальным (не конкретизировано влияние l на вид реализаций), что затрудняет физическую интерпретацию приведенных сведений, а также восприятие отдельных нормировок, характерных для формул этого раздела; неясно, почему формула для рассеяния надежной несостоятельной оценки разрывного параметра при стремлении области несостоятельности к нулю переходит в соответствующую формулу для рассеяния надежной состоятельной оценки,

в то время как для аналитических выражений вероятностей надежных состоятельной и несостоятельной оценок такой преэмптивности не прослеживается; неясно, как изменятся характеристики синтезированных алгоритмов обнаружения и измерения разладки при анализе реальных случайных процессов с непрерывным спектром. 3. **А.А. Локтев**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой «Транспортное строительство» Московского государственного университета путей сообщения Императора Николая II, *с замечаниями*: неясно, при каких нижних значениях параметра μ_{\min} , определяющего характер флуктуаций анализируемого случайного процесса, можно использовать полученные результаты; не рассмотрены байесовские алгоритмы обработки, обеспечивающие предельную точность при приеме сигналов с неизвестными разрывными параметрами; не ясен различный характер расхождения теоретических и экспериментальных зависимостей рассеяний выносимых оценок (например, рис. 11, 12 и др.). 4. **Д.Н. Шепелев**, канд. техн. наук, проректор по информационным технологиям Московского информационно-технологического университета – Московского архитектурно-строительного института, *с замечаниями*: из текста автореферата не ясно, где именно и каким образом при синтезе и анализе алгоритмов определения разладки использовалось пренебрежение величинами порядка времени корреляции принимаемого случайного процесса; оценки энергетических параметров случайных процессов в задачах разладки рассмотрены в предположении, что момент разладки случайного процесса априори известен, но это не всегда имеет место на практике; хотелось бы видеть обобщение результатов работы на случай негауссовских сигналов и сигналов с неравномерным спектром. 5. **М.Т. Рзиева**, канд. техн. наук, ассистент кафедры информационно-измерительных систем и технологий Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), *с замечаниями*: неясно, из каких соображений решающую статистику при обработке сигнала с неизвестным разрывным параметром и ее приращение в общем случае можно аппроксимировать марковским процессом диффузионного типа; при синтезе алгоритмов обнаружения и измерения разладки класс анализируемых процессов ограничен быстрофлуктуирующими гауссовскими

процессами, при этом неясно, насколько ухудшается качество функционирования синтезированных обнаружителей и измерителей при уменьшении скорости флуктуаций и отклонении распределения случайного процесса от гауссовского; неясно, в чем состоит суть обозначенной в разделе «Научная новизна» новой методики определения характеристик оценки разрывного параметра информационного процесса при произвольных выходных отношениях сигнал/шум и строго монотонной (во всей области задания) сигнальной функции решающей статистики. **б. П.А. Трифонов**, д-р техн. наук, доц., доцент 51 кафедры радиоэлектронной борьбы (и технического обеспечения частей РЭБ) Военно-воздушной академии имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж, *с замечаниями*: не указана область применимости результатов диссертации, в частности, неясно, при каких условиях используемые в работе физически нереализуемые модели информационных процессов адекватно описывают реальные сигналы; не понятно, почему формулы (5), (7), (8) не следуют из формул (11)-(13), хотя по смыслу должны являться их частным случаем при $\delta=0$.

Авторы отзывов на автореферат отмечают, что проблема оптимальной обработки сигналов с неизвестными разрывными параметрами имеет широкие приложения в связи, радио- и гидролокации, системах синхронизации и т. п. До настоящего времени в известной литературе рассматривались в основном вопросы частных случаев приема квазидетерминированных и авторегрессионных сигналов. В этой связи диссертационная работа Сай Си Ту Мин, посвященная разработке новых подходов к решению задачи статистического анализа достаточно общего класса информационных процессов с неизвестными разрывными параметрами (с определением как структуры новых алгоритмов обнаружения и измерения таких сигналов, превосходящих в том или ином смысле известные аналоги, так и аналитических выражений для характеристик их функционирования), является достаточно актуальной и представляет интерес как с теоретической, так и с практической точки зрения. Основное внимание в работе уделено разработке методики синтеза алгоритмов обнаружения и измерения момента разладки быстофлуктуирующих низкочастотных и высокочастотных гауссовских процессов с неизвестными неэнергетическими параметрами, методики

определения качества функционирования алгоритмов обработки разрывных квазидетерминированных и случайных сигналов, а также имитационному моделированию алгоритмов статистического анализа сигналов со скачкообразным изменением характеристик. С этой целью автором получены новые выражения для решающих статистик (логарифмов функционалов отношения правдоподобия), на основе которых удастся реализовать технически простые обнаружители и измерители разладки (скачкообразного изменения различных параметров) быстрофлуктуирующих гауссовских процессов; выполнено обобщение метода локально-марковской аппроксимации на случай произвольного информационного сигнала и ненулевой области несостоятельности оценки его неизвестного разрывного параметра, что позволило получить замкнутые аналитические выражения для характеристик рассмотренных обнаружителей и измерителей, в том числе с учетом аномальных эффектов; предложены способы моделирования гауссовских случайных процессов и их преобразований на ЭВМ, с помощью которых была установлена работоспособность рассмотренных обнаружителей и измерителей, а также определены границы применимости асимптотически точных формул для их характеристик. Синтезированные алгоритмы являются одноканальными и могут быть достаточно просто реализованы на практике.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что **Ю.Э. Корчагин** является известным специалистом в области статистического анализа разрывных информационных процессов, в том числе с использованием методов локально-марковской аппроксимации; **А.Ф. Кушнир** является высококвалифицированным специалистом в области статистического синтеза, анализа и моделирования алгоритмов обнаружения разладки гауссовских случайных процессов; **Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского** известен своими ведущими научными школами по методам исследования шумов и случайных явлений в системах обработки информации, методам оптимальной, адаптивной и нелинейной обработки сигналов, методам спектрально-временного анализа нестационарных сигналов, имитационному моделированию.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получены следующие новые научные результаты:

разработана новая методика статистического анализа алгоритмов обработки разрывных квазидетерминированных и гауссовских сигналов, наблюдаемых на фоне коррелированных гауссовских помех, основанная на аппроксимации приращения решающей статистики на интервале надежной оценки измеряемого разрывного параметра и самой решающей статистики на интервале аномальной оценки измеряемого разрывного параметра марковскими случайными процессами диффузионного типа;

разработаны новые одноканальные алгоритмы, основанные на методе максимума правдоподобия, и предназначенные для обнаружения и оценки момента разладки, а также для оценки энергетических параметров быстрофлуктуирующих низкочастотных и высокочастотных случайных процессов;

выполнено развитие метода локально-марковской аппроксимации применительно к случайным процессам со скачкообразным изменением свойств, что, в частности, позволило получить новые аналитические выражения для асимптотических (с ростом отношения сигнал/шум) характеристик синтезированных алгоритмов, в том числе с учетом влияния аномальных эффектов;

предложена новая методика аналитического определения закона распределения и моментов оценки разрывного параметра анализируемого процесса при произвольных выходных отношениях сигнал/шум в случае кусочно-монотонной сигнальной функции решающей статистики, когда не удается в явном виде выделить области надежной и аномальной оценки;

определены границы применимости полученных асимптотических формул для характеристик алгоритмов обработки разрывных квазидетерминированных и случайных сигналов;

представлены методики статистического моделирования алгоритмов обнаружения и оценки параметров быстрофлуктуирующих гауссовских процессов со скачкообразным изменением свойств, полученные на их основе результаты подтверждают достоверность сформулированных в работе теоретических результатов и выводов;

сформулированы критерии и рекомендации по целесообразности применения алгоритмов обнаружения и оценки параметров разрывных информационных сигналов в зависимости от имеющейся априорной информации и требований, предъявляемых к простоте технической реализации и качеству функционирования алгоритма обработки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

разработанная методика синтеза алгоритмов обработки случайных сигналов со скачкообразным изменением свойств в условиях параметрической априорной неопределенности имеет существенное значение для развития теории обнаружения разладок случайных процессов;

разработанная методика позволяет получать замкнутые аналитические выражения для характеристик обнаружителей и измерителей разрывных квазидетерминированных и гауссовских случайных сигналов с неизвестными параметрами, позволяет синтезировать практически реализуемые и технически более простые алгоритмы по сравнению с известными аналогами;

проведенная модернизация методов и алгоритмов статистического анализа разрывных квазидетерминированных и случайных сигналов в условиях параметрической априорной неопределенности учитывает аномальные эффекты и возможность нарушения свойства состоятельности оценки разрывного параметра.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

определены возможности использования полученных результатов при разработке перспективных радио- и гидролокационных систем и систем связи, использующих в качестве несущей случайные процессы, систем контроля и управления технологическими процессами с учетом возможного скачкообразного изменения режимов их работы, при исследовании и анализе физических и статистических свойств природных и искусственных объектов по их спонтанному излучению и вынужденным импульсным откликам, при проектировании систем обработки радио-, гидролокационных и оптических сигналов и сигналов в технической и медицинской диагностике и др.

Значимость проведенных исследований подтверждается их поддержкой Российским научным фондом (проект № 14-49-00079, 15-11-10022), Российским фондом фундаментальных исследований (проекты № 13-08-00735, 13-08-97538) и Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части государственного задания (проект № 1729).

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Результаты диссертационной работы могут быть использованы при исследовании (анализе) физических и статистических свойств природных и искусственных объектов по их спонтанным и вынужденным импульсным откликам, перспективных локационных и связных систем, использующих в качестве информационных сигналов импульсы с шумовой несущей, информационных систем различного назначения, реализуемых на основе цифровых методов обработки, в других областях науки и техники, связанных с регистрацией и измерением информационных процессов со скачкообразным изменением характеристик.

Полученные результаты могут быть рекомендованы к использованию в учреждениях, занимающихся разработкой и проектированием перспективных локационных систем, систем мониторинга, систем передачи и обработки информации, таких как Концерн «Радиотехнические и информационные системы» (г. Москва), Научно-исследовательский институт космического приборостроения – филиал Объединенной ракетно-космической корпорации (г. Москва), Московское машиностроительное производственное предприятие «Салют», Московский радиотехнический институт РАН, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (г. Москва), Институт космических исследований РАН (г. Москва) и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

использование автором апробированных современных математических методов статистической теории информации;

согласование представленных теоретических расчетов с экспериментальными данными, полученными с помощью имитационного компьютерного моделирования;

совпадение полученных в диссертации новых результатов с известными ранее в ряде частных и предельных случаев.

Личный вклад соискателя состоит в: выполнении основных теоретических расчетов, разработке методики реализации экспериментов и проведении статистического моделирования на ЭВМ синтезированных алгоритмов обработки случайных процессов со скачкообразным изменением характеристик, в анализе, интерпретации и апробации полученных результатов, формулировке выводов по проделанной работе, в подготовке публикаций по выполненной работе.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи – синтеза алгоритмов обработки случайных сигналов со скачкообразным изменением свойств в условиях параметрической априорной неопределенности, имеющей значение для развития теории обнаружения разладок случайных процессов.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На заседании 05.04.2017 диссертационный совет принял решение присудить **Сай Си Ту Мин** ученою степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации), физико-математические науки, из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовал: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета

Ученый секретарь

диссертационного совета

05.04.2017



Горцев Александр Михайлович

Тарасенко Петр Феликсович