

«Утверждаю»

Директор по НИОКР

АО «Концерн «Вега»

 В.В. Мекекечко

«26» ноября 2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации АО «Концерн «Вега» на диссертационную работу КУЗЬМИНА Евгения Всеволодовича на тему: «Повышение эффективности обработки шумоподобных сигналов при одноканальном приеме на фоне внешних помех», представленной на соискание доктора технических наук по специальности 2.2.16– «Радиолокация и навигация»

Современные радиоэлектронные системы (РЭС), как правило, работают в условиях воздействия различного рода помех, которые снижают эффективность их работы. Устранение вредного влияния помех на работоспособность РЭС всегда считалось приоритетной задачей. Особенно решение данной задачи актуально для РЭС, от которых зависит безопасность жизнедеятельности человека, будь то в гражданской или военной сферах его деятельности. Решение проблемы, на которой сосредоточился в своей диссертационной работе соискатель Кузьмин Евгений Всеволодович, связано с обеспечением устойчивой работы современных радионавигационных систем в условиях воздействия однотоновых гармонических (ГП) и многотоновых гармонических (МП) помех. Данная группа помех выделена как одна из основных в Радионавигационном плане Российской Федерации

(утвержден Приказом Минпроторга РФ № 3296 от 04.09.2019 г.) для радионавигационных систем (РНС). В этой связи с полной уверенностью можно утверждать, что диссертационное исследование Кузьмина Е.В. является актуальной научной работой.

Современные РНС работают с сигналами, которые относятся к категории шумоподобных (ШПС). Формирование сигналов данного типа обеспечивается путем фазовой манипуляции сигналов непрерывных выборок достаточно длинной последовательностью из коротких видеоимпульсов, смена полярности которых происходит по квазислучайному закону. Этот подход обеспечивает данным сигналам необходимые корреляционные свойства, которые позволяют реализовать их высокопомехоустойчивый прием. В то же время, прежде чем реализовать обработку ШП-сигналов, необходимо провести операцию поиска данных сигналов, анализируя поступающую на вход приемной части РНС смесь из полезного сигнала (ШПС), внутренних шумов приемника и внешних помех. Именно на этом этапе возникают основные проблемы при приеме слабых ШПС. В этой связи является обоснованным решение соискателя исследовать проблему поиска ШПС в условиях воздействия мощных ГП и МП.

В ходе диссертационных исследований соискатель рассмотрел широкий круг вопросов, а именно: провел анализ и детальное статистическое исследование влияния ГП и МП на процедуру поиска ШПС при использовании спектрального подхода и учете технико-технологических ограничений; выполнил анализ возможностей по режекции спектральных областей действия ГП и МП, приходящих совместно с ШПС и внутренним шумом приемника РНС, при использовании различных оконных функций; провел формализацию спектрально-веса оценок параметров ГП при использовании процедуры взвешивания ее реализации и исследовал вопросы точности оценки ее параметров при компенсации в соответствии с данной процедурой; провел разработку нерекурсивного алгоритма подавления внешних помех, использующего обратные выборочные временные

корреляционные матрицы неклассифицированной выборки аддитивной смеси ШПС с малым интервалом стационарности, помехи и шума, который является нечувствительным по отношению к полезному ШПС; провел экспериментальную и программно-имитационную верификацию эффективности частотной режекции и низкочастотной фильтрации при поиске ШПС при воздействии внешних помех и обработке временных рядов измерительной информации, полученной при длительных сеансах приема полезного ШПС; осуществил разработку и исследование новых ШПС, основанных на модернизации формы элементарных импульсов порождающей псевдослучайной последовательности (ПСП) на базе атомарных функций, отличающихся спектрально-корреляционными свойствами по сравнению с традиционными ФМ-ШПС и имеющими ряд преимуществ по отношению к современным ШПС с дополнительной меандровой модуляцией (*ВОС-ШПС*).

В результате данных исследований автором получены следующие новые научные результаты:

1. Впервые на основе обобщенной формулы Рэлея получены теоретические выражения для формализации скалярных произведений ШПС, порождаемых произвольными ПСП и ГП с произвольными параметрами, а также получены отклики типовых корреляционных процедур на ГП при опорных ФМ-ШПС.

2. Установлены важные детали существенных периодических неравномерностей в спектрально-вероятностных зависимостях, представленных «квазиколебательным» и «чашеобразным» поведением и обнаружено, что ГП одинаковой мощности при сравнительно малых отличиях спектрального положения способны оказывать заметно различное влияние на качество беспорогового поиска ШПС; кроме того, на эффективность спектральной процедуры поиска ШПС влияет эффект «растекания» спектра, приводящий к деформации соседних спектральных линий периодического ШПС.

3. Обнаружена аномальная перестановка вероятностных кривых в семействе зависимостей вероятности правильного выполнения поиска ШПС от отношения помеха-сигнал в области значений данной вероятности от 0,9 до 1,0 при воздействии компонентов МП в пределах от 2 до 25, которая объясняется существенной трансформацией закона распределения помеховой компоненты при значении равном 3 и более.

4. Впервые изучено применение вариации высоких порядков весовых функций (ВФ) семейства Кравченко и комбинаций на их основе для режекции ГП и МП, достигнуты значительные показатели алгоритмической эффективности их подавления; существенно улучшены характеристики процедуры беспорогового поиска ШПС по задержке на фоне МП и ГП за счет выбора ВФ предварительного взвешивания при спектрально-пороговой режекции и спектральной поэлементной обработке смеси ШПС и помехи.

5. Достигнуто значительное улучшение показателей процедур подавления мощной ГП, доминирующей в смеси над полезным ШПС, за счет применения спектрально-весового оценивания ее параметров и последующей компенсации при предварительном взвешивании степенными вариациями ВФ Хеннинга.

6. Предложена новая методика обеспечения робастности алгоритма подавления помех, использующего временную выборочную корреляционную матрицу, по отношению к непрерывному ШПС, присутствующему в неклассифицированной выборке наблюдений, доступной при одноканальном ненаправленном приеме.

7. Установленная в проводимых экспериментах эффективность спектральной режекции ГП превосходит известные показатели, полученные при одноканальном приеме и аналогичных применяемых мерах борьбы.

8. Впервые на основе элементарных импульсов, форма которых определяется атомарными функциями, сконструированы ПСП, порождающие неограниченное количество новых ШПС, наследующих их выгодные свойства, обладающих спектрально-корреляционными

преимуществами по отношению к традиционным ФМ-ШПС и превосходящих по ряду показателей современные **ВОС**-ШПС.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в том, что в ходе диссертационного исследования при рассмотрении теоретических вопросов автором получены обобщенные и частные аналитические выражения для выходных сигналов устройства обработки полезного ШПС корреляционного типа при воздействии внешней ГП с произвольными параметрами, которые имеют широкую область применимости при изучении влияния ГП и особенностей частотных характеристик соответствующих процедур обработки как при классическом исполнении, так и при переходе в частотную область анализа, а также с учетом наличия режима когерентного накопления. Кроме того, обнаружены и объяснены аномалии в поведении спектрально-вероятностных зависимостей, характеризующих процедуру поиска ШПС на фоне МП, и показаны новые возможности повышения эффективности спектральной режекции ГП и ТП за счет выбора ВФ предварительного взвешивания из банка классических и современных функций, используемых при ДПФ. Помимо этого получены аналитические выражения для спектрально-веса оценивания параметров ГП при взвешивании реализаций степенными вариациями ВФ Хеннинга с произвольными целочисленными значениями показателя степени и реализованы высокоточное оценивание параметров ГП и ее компенсация. Также показана возможность повышения устойчивости РНС при работе со слабыми ШПС на фоне внешних узкополосных (ГП и ТП) и структуро-подобных (СПП) помех за счет применения нерекурсивного алгоритма, основанного на использовании обратных выборочных временных корреляционных матриц, размерность которых определяется объемом неклассифицированной выборки сигнально-помеховой смеси за период наблюдения, и новой методике обеспечения робастности по отношению к непрерывному ШПС, присутствующему в выборке. В завершении разработаны предложения по синтезу новых семейств ШПС на основе ПСП,

огибающие элементарных импульсов которых описываются с помощью атомарных функций. Изучение свойств данных сигналов показало, что они обладают преимуществом в сравнении с традиционными ФМ-ШПС и имеют ряд преимуществ перед ШПС с дополнительной меандровой модуляцией.

Практическая значимость работы состоит в том, что автором предложены конкретные меры при реализации как временной, так и спектральной обработок, позволяющие повысить эффективность работы РНС при одноканальном всенаправленном приеме полезного ШПС малой интенсивности в условиях воздействия ГП и ТП.

Сформированные предложения по результатам диссертационного исследования реализованы в АО «Решетнев» и ФГАОУ ВО «СФУ», а также могут быть использованы в организациях, занимающихся разработкой радионавигационных систем, и, кроме того, на предприятиях-изготовителях данных систем при модернизации функционального программного обеспечения РНС.

Содержание диссертации достаточно полно представляет научные исследования и практические разработки, проведенные автором и выполненные на высоком научно-техническом уровне. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и отражает основные результаты исследований. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных научно-технических конференциях «Радионавигационные технологии в приборостроении», «Цифровая обработка сигналов и ее применение», «Современные проблемы радиоэлектроники», «Международная сибирская конференция по управлению и связи», «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли, «Системы связи и навигации» в течение 2013-2024 г.г., проводимых в городах Москве, Томске, Туапсе, Красноярске. Основные результаты диссертации достаточно полно представлены в 40 различных научных изданиях, из них: 16 статей опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК и международные

научные базы цитирования, 2 – монографии, 5 – свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, 17 – в сборниках докладов НТК.

Вместе с тем по диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Во введении на диссертацию и автореферат указано, что предметом исследования является повышение помехоустойчивости выделения ШПС на фоне помех за счет совершенствования алгоритмической эффективности предкорреляционной и дополнительной обработок. С нашей точки зрения предметом исследования не может быть процесс (процедура), которым (которой) является повышение помехоустойчивости выделения ШПС на фоне помех. Предмет это то, что должно быть разработано. С этой точки зрения под предмет больше подходит заявленная цель диссертационного исследования, а именно, «алгоритмический резерв эффективности подавления внешних помех для совершенствования РЭС, функционирующих при одноканальном ненаправленном приеме ШПС».

2. В названии глав 4 и 5, а также при изложении их содержания автор использует словосочетание «нейтрализация помех». С нашей точки зрения данное словосочетание не совсем точно отражает суть содержания борьбы с вредным влиянием помех. Помеха либо подавлена (режектирована), либо нет. Другого не дано. Если она плохо подавлена, это говорит о том, алгоритм плохой (неэффективный) и требуется его замена.

3. При рассмотрении новых ШПС, построенных с помощью ПСП, огибающие элементарных импульсов которых описываются с помощью атомарных функций, автор использует жаргонный термин, пришедший к нам из английского языка – «чип» (англ.). В переводе на русский язык под чипом понимают (см. «Большая российская энциклопедия») фрагмент полупроводниковой или диэлектрической пластины, представляющей собой монокристалл прямоугольной формы, площадью от долей до неск. см³, на котором сформированы интегральная схема (или ее часть), отдельный электронный прибор или сборка, а также межэлементные соединения и

контактные площадки. (русс.эквивалент – кристалл). Засорение русского языка жаргонами приводит к недопониманию сути работы, поскольку при появлении слова «чип» предполагается рассмотрение технологии, которая позволяет осуществить реализацию формирователя нового ШПС, а по сути, это банальное использование англ. термина (буквальный перевод – обломок, осколок, кусочек) для описания сигнала. Зачем это делать?

4. В пунктах заключения по работе автор попытался снова пересказать, что он сделал и к чему это привело. Нет краткости. Каждый пункт это объем текста на более, чем половину страницы формата А4. В то же время, не указан тот конкретный алгоритмический резерв, который заявлен в цели диссертации: исследование и реализация алгоритмического резерва повышения эффективности подавления (заметим, а не нейтрализации) внешних помех для совершенствования РЭС, функционирующих при одноканальном ненаправленном приеме ШПС.

Сделанные замечания несколько снижают общее положительное впечатление от работы, в то же время, учитывая большой объем проведенных исследований и полученные результаты, считаем, что диссертационная работа Кузьмина Е.В. выполнена на высоком научно-техническом уровне, является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научной проблемы по повышению эффективности функционирования РНС, работающих при одноканальном и ненаправленном приеме ШПС, в условиях воздействия ГП и МП.

По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости представленная работа отвечает требованиям п.п. 9-11 Положения о порядке присуждения ученых степеней, разработанным Министерством науки и высшего образования РФ и предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Кузьмин Евгений Всеволодович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.16 – Радиолокация и радионавигация.

Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрен и одобрен на заседании
секции №4 НТС АО «Концерн «Вега» 26 ноября 2025 года, протокол №7.

Заместитель генерального конструктора

АО «Концерн «Вега»

доктор технических наук, профессор,

заслуженный деятель науки РФ



Меркулов Владимир Иванович

Заместитель директора научно-образовательного центра

АО «Концерн «Вега»

кандидат технических наук



Филатов Александр Александрович

«25» ноября 2025 г.

АО «Концерн «Вега»,

121170, Москва, Кутузовский проспект, 34

Тел. +7(499)753-40-04

E-mail: mail@vega.su