

## ОТЗЫВ

### **Научного руководителя Важенина Николая Афанасьевича на диссертацию Тяпкина Павла Станиславовича «Повышение помехоустойчивости радиосистем передачи информации к импульсным помехам с использованием методов слепого разделения сигналов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»**

Тяпкин Павел Станиславович в 2020 году окончил ФГБОУ ВО Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». С 2020 по 2024 год обучался в аспирантуре ФГБОУ ВО Московского авиационного института (национального исследовательского университета) по направлению «Электроника, радиотехника и системы связи» на кафедре 408 «Инфокоммуникации».

Тяпкин Павел Станиславович подготовил диссертацию на тему «Повышение помехоустойчивости радиосистем передачи информации к импульсным помехам с использованием методов слепого разделения сигналов», посвященную исследованию современных методов слепого разделения сигналов для борьбы с влиянием импульсных помех в канале связи.

Актуальность темы диссертации подтверждается растущими требованиями по помехоустойчивости каналов связи к воздействию импульсных помех, в особенности систем дальней космической связи, а также ограниченной эффективностью классических методов борьбы с импульсными помехами в радиосистемах.

Достоверность результатов работы обеспечивается корректным использованием методов теории вероятностей и математической статистики; строгим использованием математического аппарата для всех полученных научных результатов, соответствием в определенных случаях полученных результатов результатам других авторов, опубликованным в отечественной и зарубежной литературе; калибровкой и верификацией имитационных моделей, соответствием результатов, полученных в ходе имитационного моделирования, в частных случаях с известными теоретическими результатами.

Научная новизна полученных в работе результатов заключается в следующем:

1. Предложено использование методов слепого разделения сигналов для борьбы с импульсными помехами на фоне тепловых шумов приёмного тракта и определены области эффективного использования этих методов, заключающиеся в необходимости обеспечения битового отношения сигнал-шум в каналах приёма не менее 6-8 дБ, в зависимости от метода модуляции, и разности отношений помеха-сигнал в каналах приёма от 5 дБ и выше.

2. Получены количественные оценки вероятности битовой ошибки и выигрыша в этой вероятности от использования слепых методов разделения сигналов для борьбы с квазипериодическими гармоническими и шумовыми импульсными помехами в зависимости от отношения сигнал-шум и отношения помеха-сигнал для типовых методов модуляции: ЧМн-2, ФМн-2, ФМн-4, ФМн-8, КАМ-16 и ГММС.

3. Показано, что при указанных в п. 1 условиях выигрыш в вероятности битовой ошибки от использования слепого разделения сигналов (алгоритм SOBI) для модуляции ФМн-2 и импульсной помехи с гармоническим заполнением может составлять 80 и более раз.

4. Показано, что при приёме сигнала ФМн-8 с квазипериодической импульсной шумовой помехой использование слепого разделения сигналов (алгоритм c-FastICA) позволяет при тех же условиях получить выигрыш по вероятности битовой ошибки от 35 раз и выше при битовом отношении сигнал шум 10 дБ и более.

5. Показано, что при модуляции КАМ-16 и квазипериодической импульсной шумовой помехе при битовом отношении сигнал-шум от 12 дБ и выше, различии в отношении помеха-сигнал в каналах приёма от 20 дБ использование алгоритмов слепого разделения сигналов AMUSE, c-FastICA и SOBI обеспечивает выигрыш по вероятности битовой ошибки на 2 порядка и выше в зависимости от отношения сигнал-шум.

6. Показано, что в системах дальней космической связи Земля-КА, реализованных на базе протокола физического уровня, рекомендованного CCSDS, с использованием модуляционно-кодовой схемы на основе ГММС-сигнала благодаря применению методов слепого разделения сигналов (алгоритм SOBI) возможно получение выигрыша по вероятности битовой ошибки по сравнению со случаем, когда слепое разделение сигналов не используется:

– в 20 раз при отсутствии помехоустойчивого кодирования, битовом отношении сигнал-шум 10 дБ и различии отношений помеха-сигнал в каналах приёма 15 дБ;

– около 10 раз при использовании помехоустойчивого кодирования кодом Рида-Соломона (255,223), битовом отношении сигнал-шум 6.6 дБ и различии отношений помеха-сигнал в каналах приёма 25 дБ.

Практическая ценность результатов диссертационной работы состоит в следующем:

– Разработанный комплекс математических и имитационных моделей позволяет оценивать эффективность использования методов слепого разделения сигналов для борьбы с импульсными помехами в радиосистемах.

– Разработанный аппаратно-программный комплекс позволяет проводить апробацию и отработку технической реализации алгоритмов слепого разделения сигналов и может быть использован в инженерной практике при проектировании и разработке перспективных радиосистем, использующих методы слепого разделения сигналов.

– Полученные количественные оценки эффективности использования методов слепого разделения сигналов для борьбы с импульсными помехами различной природы, разработанные рекомендации по применению данных методов борьбы с помехами и выявленные их ограничения позволяют принимать обоснованные технические решения при проектировании, выборе параметров РСПИ и определении области применимости данных методов в конкретных условиях.

– Предложенные и апробированные алгоритмы практической реализации цифровой обработки принимаемых сигналов, использующие методы слепого разделения сигналов и учитывающие инверсию фазы, необходимость идентификации и выбора базового канала приёма, позволяют повысить помехоустойчивость РСПИ, использующих сигналы с амплитудно-фазовой манипуляцией.

В ходе работы над диссертацией Тяпкин П.С. проявил себя грамотным исследователем, способным самостоятельно определять цель проводимого исследования, осуществлять поиск научных публикаций по тематике диссертационного исследования, заниматься разработкой вычислительных программ и аппаратно-программных комплексов.

Личное участие Тяпкина П.С. в получении результатов, представленных в работе, выражается в разработке методик, математических и имитационных моделей каналов связи, аппаратно-программного комплекса для исследования эффективности

