

## ОТЗЫВ

### официального оппонента

на диссертацию Краснова Тимура Валериевича на тему "Методы повышения устойчивости к взаимным помехам в радионавигационных системах со спектрально-эффективными шумоподобными сигналами" по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация на соискание учёной степени кандидата технических наук

**Актуальность темы диссертации** определяется насущной потребностью повышения помехозащищённости наземных радионавигационных систем. В случае отсутствия доступа к сигналам спутниковых систем навигации наземные РНС оказываются безальтернативным средством координатно-временного обеспечения потребителей.

Большой динамический диапазон сигналов наземных РНС обостряет проблему приёма сигналов на границах рабочей зоны из-за действия мощных внутрисистемных (взаимных) помех. Известные подходы к решению указанной проблемы связаны с увеличением базы сигналов и с использованием автокомпенсаторов помех. Из-за высокого динамического диапазона сигналов каждый из подходов в отдельности не может полностью решить проблему повышения помехоустойчивости к взаимным помехам в наземных широкополосных системах радионавигации с кодовым разделением.

Решаемая автором научно-техническая задача, заключающаяся в разработке методов повышения устойчивости наземных систем радионавигации к шумоподобным сигналам и кодовым разделением к мощным взаимным помехам, является актуальной.

**Цель диссертации и задачи исследования** соответствуют решаемой научно-технической задаче повышения помехоустойчивости к взаимным помехам в наземных широкополосных системах радионавигации с кодовым разделением.

**Наиболее значимые результаты диссертации.** С целью расширения рабочей зоны РНС наземного базирования используют преимущественно средне- и длинноволновый диапазоны, для которых характерна перегруженность мешающими сигналами и помехами техногенного происхождения. В последние десятилетия проявляется повышенный интерес к применению в подобных системах спектрально-эффективных методов модуляции, концентрирующих излучение в минимально узких спектральных зонах и ощутимо смягчающих тем самым остроту проблемы тесноты эфира.

На основании проведенного в главе 1 сравнительного анализа шумоподобных сигналов спектрально-эффективных форматов модуляции автор делает вывод о преимуществах сигналов *MSK-BOC* перед сигналами с традици-

онной модуляцией *MSK* в точности измерения задержки. Показано, что требуемый допустимый уровень взаимных помех 80 дБ может быть обеспечен с использованием в качестве дальномерных кодов ансамблей из циклических сдвигов общей *M*-последовательности длины 16383 и дополнительной компенсации мощных взаимных помех.

В главе 2 дано обоснование перспективности алгоритма компенсации с бланкированием, позволяющего значительно ослабить негативное влияние модуляции данными на эффективность подавления. Наиболее значимым результатом главы 2 является разработка автокомпенсатора мощной взаимной (структурной) помехи на основе следящего фильтра с контурами слежения за задержкой и фазой помехи, обеспечивающего подавление помехи не менее 40 дБ для реальных условий приёма сигналов опорных станций.

В главе 3 представлены результаты исследования эффективности подавления мощной структурной помехи в автокомпенсаторе. Анализ помехоустойчивости квазиоптимального алгоритма параллельного поиска слабого шумоподобного *MSK*-сигнала при воздействии структурной помехи свидетельствует о том, что он проигрывает оптимальному алгоритму менее 1 дБ, обеспечивая существенные преимущества в реализации. К числу основных результатов главы 3 следует отнести то, что предложенный автокомпенсатор структурной помехи позволяет повысить запас помехоустойчивости приемника *MSK*-сигнала с 40 дБ (без компенсатора) до 80 дБ, что соответствует динамическому диапазону сигналов РНС «Спрут».

Глава 4 посвящена экспериментальному исследованию способов компенсации структурных помех с учётом аппаратных погрешностей автокомпенсатора. Показано, что наибольшее влияние на эффективность компенсации мощной структурной помехи оказывают амплитудно-фазовые искажения при полосовой фильтрации сигналов. Введение в канал формирования копии структурной помехи полосового фильтра, идентичного полосовому фильтру приёмника, позволяет повысить эффективность компенсации структурной помехи с 20 (без дополнительного фильтра) до 70 дБ (в случае отношения помеха/шум 0 дБ).

Научные результаты диссертации создают теоретическую основу для разработки новых методов повышения устойчивости наземных систем радионавигации с шумоподобными сигналами и кодовым разделением к мощным мешающим сигналам (взаимным помехам).

**Значение результатов диссертации для практики.** Предложенные в диссертации технические решения по компенсации мощной структурной помехи позволяют существенно расширить рабочую зону радионавигационной

системы «Спрут», повысить точность координатно-временного обеспечения потребителей.

**Новыми научными результатами, полученными автором, являются** разработанные способы и устройства компенсации структурных помех, отличающиеся от известных способов высокой помехоустойчивостью и малыми аппаратными затратами.

**Достоверность полученных результатов подтверждается** корректным применением известных математических методов, удовлетворительным совпадением теоретических результатов с результатами математического моделирования и экспериментальных исследований, сопоставлением с результатами работ других авторов.

**Диссертация содержит** 166 страниц основного текста, включая 76 иллюстраций, список литературы из 101 наименования, а также приложения на 4 страницах.

**По теме диссертации** автором опубликовано 35 работ, в которых материалы диссертации отражены достаточно полно, из них 13 – в рецензируемых изданиях по списку ВАК, 6 патентов на изобретения.

**Автореферат соответствует содержанию диссертации.**

**Замечания:**

1. В главе 1 (с. 35) функции  $H_I(t)$  и  $H_Q(t)$  используются для описания элементов квадратурных сигналов, а на рис. 1.7 (с. 36) эти же обозначения соответствуют самим сигналам.

2. Для определения разных характеристик используется одно обозначение  $q$ : отношение сигнал/шум (главы 1 и 3) и интервал квантования (глава 4).

3. Использование автором терминов «уровень остатка помехи» и «уровень подавления помехи» (глава 4) как равноценных некорректно.

Отмеченные замечания не затрагивают сути исследований и принципиально не влияют на их результаты.

Диссертационная работа выполнена на актуальную тему, содержит новые научные результаты, имеет значение для теории и практики построения систем радионавигации. Автор диссертационной работы продемонстрировал хорошую квалификацию и опубликовал ряд новых и важных научных результатов.

**Общее заключение по диссертации.** Диссертация Краснова Тимура Валериевича посвящена исследованиям в области повышения устойчивости наземных систем радионавигации с шумоподобными сигналами к мощным взаимным помехам, соответствует специальности 05.12.14 – *Радиолокация и радионавигация*, имеет внутреннее единство и является завершённой научно-

квалификационной работой, в которой на основании выполненных лично автором исследований получены научные результаты, совокупность которых можно квалифицировать как решение научно-технической задачи, имеющей существенное практическое значение для разработки широкополосных систем радионавигации.

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 "Положения о порядке присуждения учёных степеней" (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842) для учёной степени кандидата наук, а её автор Краснов Тимур Валериевич достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Доцент кафедры «Систем  
автоматического управления»  
Сибирского государственного  
аэрокосмического университета  
имени академика М.Ф. Решетнева  
канд. техн. наук, доцент

Виктор Геннадьевич Сидоров

660037, Красноярск, проспект имени  
газеты Красноярский рабочий, 31; а/я 1075  
Тел.: 8 (391) 291-91-41

Должность, ученую степень, ученое звание и подпись

В. Г. Сидорова заверяю



11.01.2016