

ОТЗЫВ

Официального оппонента Вечтомова Виталия Аркадьевича

На диссертацию Мирошниковой Наталии Евгеньевны на тему: «Исследование методов построения слепых эквалайзеров для систем когнитивной ионосферной радиосвязи», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность темы исследования. Арктический сегмент ионосферной радиосвязи в свете государственной программы РФ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года» может стать важнейшей составной частью единого информационного поля России обеспечивая экстренную передачу информации в повседневных и чрезвычайных условиях.

Вопрос обеспечения связью на арктическом побережье в настоящее время является насущной необходимостью, учитывая приоритетное развития региона.

Системы спутниковой связи на геостационарных космических аппаратах не работают выше широты 60 – 70° (пример, космические аппараты США Milstar-II и АЕНФ). Система связи на высокоэллиптических космических аппаратах так же не лишены недостатков, к тому же в настоящее время она далека от завершения. Кардинальным решением обеспечения связью арктического региона является построение низкоорбитальной связной космической группировки по типу глобальной системы спутниковой связи *Iridium*. Однако решение этого вопроса не вышло за рамки системного проекта.

Обеспечение экстренной связью арктического региона возможно с использованием тропосферной, либо ионосферной связи (пример, существовавшая в 60-80 гг. прошлого века ТРРЛС «Север»). Но тропосферный слой атмосферы, отражения радиоволн от которого определяют характеристики канала связи, более тонкий, чем ионосферный, и менее устойчивый. Предпочтительнее использовать отражения радиоволн от ионосферы Земли.

Вход. № 145/18
«30» 10 2018 г.
ПОДПИСЬ

Обеспечение экстренной связью арктического региона на основе ионосферных систем неизмеримо дешевле и можно значительно быстрее осуществить, чем построить любую систему спутниковой связи. Поэтому исследования в диссертационной работе, направленные на оптимизацию параметров канала системы ионосферной связи для применения её в арктическом регионе считаю *актуальными*.

Однако, ионосферные системы связи обладают низкой пропускной способностью и малой доступностью из-за быстро меняющихся условий в ионосферном канале. Развитие новых методов формирования и обработки сигналов позволяют значительно повысить пропускную способность ионосферных каналов. Повышение качества радиосвязи в арктическом регионе возможно путем адаптации параметров используемых радиосигналов в зависимости от состояния нестационарного ионосферного канала. Такая адаптация может быть достигнута на основе технологии когнитивного радио, заключающейся в управлении параметрами радиосвязи (видом модуляции, кодированием, скоростью и частотами передачи информации).

Первый раздел диссертации посвящен анализу и путям решения задачи обеспечения сравнительно надежной экстренной радиосвязи с использованием ионосферных слоев Земли. Показано, что повышение доступности и скорости передачи информации в системах ионосферной связи возможно за счет применения слепых эквалайзеров для оперативной компенсации искажений, обусловленных межсимвольной интерференцией в условиях априорной неопределенности характеристик ионосферного канала.

Второй раздел посвящен анализу существующих методов построения слепых эквалайзеров. Было рассмотрено два типа структуры эквалайзера: прямая и косвенная. Для случая прямой структуры были рассмотрены два класса методов.

В первом классе методов принимаемый сигнал представляет собой свертку передаваемых сигналов с матрицей импульсных характеристик каналов. Во втором классе методов принимаемый сигнал представляет собой линейную смесь передаваемых сигналов, где в качестве весовых коэффициентов используется

коэффициенты передачи канала, оценка которых получается в результате решения задачи оптимизации целевой функции.

Для случая косвенной структуры, обновление коэффициентов эквалайзера происходит по результатам оценки импульсной характеристики канала. В диссертации рассмотрены алгоритмы, использующие оценку импульсной характеристики канала, как метод взаимных отношений, метод максимального правдоподобия и метод канального подпространства.

Анализ рассмотренных алгоритмов показал наилучшую эффективность работы по критерию минимума уровня межсимвольной интерференции (являющейся важнейшим параметром для оценки качества восстановления информационных сигналов) энтропийного метода, который и был выбран для дальнейших исследований в диссертации.

В третьем разделе соискателем предложен метод построения слепого эквалайзера, заключающийся в использовании математики Риманова многообразия для оценки весовых коэффициентов. Переход к Риманову многообразию обоснован тем, что коэффициенты эквалайзера представляют собой матрицы значений импульсных характеристик канала передачи.

Для построения алгоритма был использован квази-Ньютоновский BFGS алгоритм в Римановом многообразии. Разработанный алгоритм дает выигрыш почти в два раза в скорости сходимости, а также позволяет существенно снизить уровень межсимвольной интерференции. Этот алгоритм отличается от других используемых в настоящее время алгоритмов отсутствием необходимости применения тренировочной последовательности, что существенно (на 50%) увеличивает скорость передачи информации.

В четвертом разделе проведено моделирование функционирования разработанного алгоритма на имитаторе ионосферного канала, в соответствии с рекомендацией МСЭ-Р F.1487 (Испытания ВЧ модемов с шириной полосы пропускания до примерно 12 кГц, с использованием моделирования ионосферных каналов) при использовании пакета записи состояния реального ионосферного канала. В результате моделирования получена характеристика работоспособности

приемника и проведено сравнение его характеристик с аналогичной характеристикой приемника, построенного по стандарту MIL-STD-188-110C (военный стандарт США, используемый при разработке узкополосных и широкополосных систем дальней и тактической систем связи, в частности, ионосферной).

Предложенный слепой эквалайзер позволяет эффективно отслеживать изменения импульсной характеристики канала с меньшей ошибкой, чем при использовании классических *LMS*-эквалайзеров, даже в возмущенном канале. Результаты, полученные при натурном моделировании, показали возможность увеличения на 20% доступности ионосферных каналов.

Научная новизна диссертационной работы заключается:

- в разработке метода функционирования слепых эквалайзеров для когнитивных систем ионосферной радиосвязи, основанного на математическом аппарате слепого разделения сигналов, не применявшегося ранее в данной области;
- в разработке алгоритма работы адаптивного слепого эквалайзера, не требующего тренировочной последовательности в условиях нестационарного ионосферного канала и априорной неопределенности параметров информационных сигналов.

Теоретическая значимость работы состоит в разработанном методе построения слепого эквалайзера для когнитивных систем ионосферной радиосвязи, основанного на использовании математики Риманова пространства, ранее не использовавшейся для решения задач построения слепых эквалайзеров.

Разработанный метод построения слепого эквалайзера позволяет работать в условиях нестационарного ионосферного канала и априорной неопределенности параметров полезных сигналов.

Практическая значимость работы заключается в повышении скорости передачи в каналах ионосферной декаметровый радиосвязи на 10% – 50% за счет отказа в использовании тренировочной последовательности и возможности работы в условиях априорной неопределённости параметров канала передачи.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается результатами моделирования функционирования слепого эквалайзера с использованием имитатора ионосферного канала с использованием данных натурных испытаний.

В качестве **замечания** к диссертационной работе отмечается отсутствие оценки влияния ошибок синхронизации на эффективность алгоритма, и на помехоустойчивость системы передачи информации. Указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку результата диссертационной работы.

Работа изложена на высоком научном уровне, автореферат диссертации достаточно полно отражает содержание исследований, выполненных соискателем, четко сформулированы основные положения и выводы. Стоит отметить внедрение в НИОКР результатов исследований, выполненных в диссертации.

В соответствии с вышеизложенным, считаю, что представленная диссертационная работа в полном объеме удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует пункту 8 паспорта специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций, а её автор, Мирошникова Наталия Евгеньевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Кандидат технических наук по специальности 05.12.21 – Радиотехнические системы специального назначения, включая технику СВЧ и технологию их производства, доцент кафедры «Радиоэлектронные системы и устройства» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», официальный оппонент

Вечтомов 2.9.10.2018г.

Вечтомов В.А.

Адрес: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
телефон: +7 (499) 267-7596, E-mail: niiret@bmstu.ru

Подпись Вечтомова В.А. удостоверяю

Директор НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э. Баумана,
первый заместитель заведующего кафедрой РЛ1 МГТУ им. Н.Э. Баумана

Г.П. Слукин