

## ОТЗЫВ

официального оппонента доцента кафедры средств связи Военного института (дополнительного профессионального образования) ВУНЦ ВМФ «ВМА», Заслуженного работника высшей школы РФ, доктора технических наук, профессора Биккенина Рафаэля Рифгатовича на диссертацию Смаля Михаила Сергеевича «Бестестовые способы оценивания состояния коротковолнового радиоканала в адаптивных радиолиниях», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

### 1. Актуальность темы

В настоящее время системы радиосвязи интенсивно развиваются на основе новых информационных технологий, совершенствования элементной базы и освоения новых участков диапазона радиочастот, в частности более высоких, чем те, которые традиционно применялись на протяжении достаточно длительного времени. В ряде случаев определенную роль играет спутниковая связь, обеспечивающая обмен информацией, как на территории Российской Федерации, так и далеко за ее пределами. Тем не менее, с учетом значительных материальных затрат и других сложностей спутниковая связь не может полностью заменить коротковолновую радиосвязь. Причем, в ряде ситуаций именно коротковолновая или декаметровая радиосвязь остается единственно возможным средством для обеспечения обмена информацией между удаленными объектами в малонаселенных районах, а также в различных регионах Мирового океана, где решают поставленные задачи корабли и суда различных классов. Важной остается роль коротковолновой радиосвязи в качестве одного из средств в Глобальной морской системе связи при бедствиях и для обеспечения безопасности мореплавания (ГМССБ, Global Maritime Distress and Safety System, GMDSS).

Среди систем коротковолновой радиосвязи особо значимыми в настоящее время являются адаптивные радиосистемы передачи данных, которые автоматически видоизменяют алгоритмы своего функционирования,

ГУАП  
№ 74-532/18-0-0  
от 06.03.2018



приспосабливаясь к изменениям условий в каналах телекоммуникаций. Представленная диссертационная работа М. С. Смаля посвящена таким адаптивным радиосистемам в части разработки бестестовых или «слепых» способов оценивания состояния каналов коротковолновой радиосвязи для повышения эффективности функционирования названных систем передачи информации. С учетом сказанного, безусловно, следует считать, что тема исследований является актуальной и важной для теории и практики современной радиосвязи.

## **2. Научные результаты, степень их обоснованности и достоверности**

Теоретическая часть диссертационной работы соискателя М. С. Смаля содержит результаты исследований, посвященных разработке способов оценивания текущего состояния каналов коротковолновой радиосвязи, отличных от известных способов оценивания, в которых применяются специальные пилот-сигналы (тестовые последовательности).

Прикладная часть исследований посвящена разработке научно-технических предложений для создания подсистем управления параметрами линий коротковолновой радиосвязи с целью их приспособления (адаптации) в реальном масштабе времени к изменениям сигнально-помеховой обстановки в каналах передачи данных.

По полученным в работе научным результатам можно сказать следующее.

В качестве первого научного результата автор представляет совокупность бестестовых способов оценивания состояния непрерывного канала, основанных на анализе принимаемого информационного сигнала и учитывающих его структуру. В рамках данного результата рассмотрен ряд типовых статистических моделей каналов передачи данных, начиная с классического канала с постоянными параметрами и аддитивным белым гауссовским шумом, а также модели каналов с замираниями по законам Рэля, Райса и Накагами, которые широко применяются для описания

коротковолновой радиосвязи.

Для оценки состояния исследуемых каналов автором использованы два наглядных параметра — отношение сигнал/помеха и вероятность ошибочного приема двоичного символа. На основе этих параметров, получены новые научные результаты, позволяющие решить поставленную задачу применительно к перспективным видам модуляции сигналов, а именно с многопозиционной дискретной фазовой модуляцией (QPSK), квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ, QAM), с многочастотными OFDM сигналами с двухпозиционной дискретно-фазовой (ДФМ, PSK) или относительно-фазовой модуляцией (ОФМ, DPSK).

Особый интерес в данном результате имеет способ, где учтено влияние блока автоматической регулировки усиления, входящего в схему радиоприемного устройства. Автор для оценки вероятностных характеристик состояния канала в условиях замираний предложил новый подход, инвариантный к динамическому изменению коэффициента усиления в блоке АРУ, выбирая для измерений случайные величины из числа субчастот в полосе OFDM-сигнала, где присутствуют колебания сигнала совместно с помехой или только одна помеха. Правда, автор не показал, как здесь в конечном счете, получив оценки для плотностей вероятностей случайных величин, он определяет значения отношений сигнал/помеха.

Первый научный результат автор завершает способом оценивания вероятности ошибки двоичного символа, когда учитывается длительность защитных интервалов в многочастотных OFDM сигналах, что помимо теоретического интереса имеет прикладное значение для выбора конкретных параметров в реальной аппаратуре коротковолновой радиосвязи.

Вторым научным результатом диссертационной работы автор назвал совокупность бестестовых способов оценивания состояния дискретного канала, основанных на анализе принимаемой информационной последовательности бит или массиве кодовых слов, возможно содержащих ошибки, и учитывающих структуру кода.

Соискатель рассмотрел несколько корректирующих кодов с избыточностью, для которых получил расчетные соотношения, позволяющие оценивать качественное состояние канала связи на выходе декодирующего устройства. В частности, для исследований выбраны линейные блочные коды с одной проверкой на четность, код Хэмминга, исправляющий одну ошибку, расширенный код Голея. Оценки качества канала предложено производить на основе вычисления частоты возникновения ошибок путем нахождения синдрома при декодировании и с учетом спектра весов корректирующего кода. Показано, что предложенные автором способы оценки качества канала в сравнении с тестовыми методами дают весьма ощутимый выигрыш в точности оценок состояния канала радиосвязи примерно от двух до двадцати с лишним раз.

Кроме этого, автор рассмотрел сверточное кодирование и предложил новую процедуру оценки состояния канала на основе решения системы уравнений и нахождения вероятности ошибки. По утверждению автора в этом случае в сравнении с передачей тестовой последовательности достигается выигрыш около двух раз.

Вместе с тем во всех рассмотренных автором случаях применения корректирующих кодов остался открытым вопрос о вычислительной сложности и временных затратах в сравнении с пилот-сигнальными методами оценки качества канала.

Третий научный результат имеет прикладной практический характер, и диссертант посвятил его разработке научно-технических предложений по использованию способов оценивания канала связи при многопараметрической адаптации и наличии нескольких потенциально возможных видов сигнально-кодовых конструкций и частот.

Автором разработаны новые способы тактовой и цикловой синхронизации на основе своих же предложений оценивания состояния дискретного канала. Это существенно приближает все разработанное диссертантом к практической реализации в адаптивных системах радиосвязи.

Правда, здесь следовало дать более четкую количественную оценку вероятностных характеристик обеих систем синхронизации.

Взяв за основу классическую формулу пропускной способности двоичного симметричного канала без памяти, в рамках третьего научного результата автор предлагает методику оценки скорости передачи информации, связывая ее с величиной отношения сигнал/помеха и позиционностью используемых сигналов. Однако здесь не показано, как эти результаты, полученные для канала с постоянными параметрами и белым гауссовским шумом, удастся обобщить на случай рэлеевских замираний в коротковолновых каналах радиосвязи. Расчет пропускной способности в таких каналах является весьма сложной задачей, что показано в монографии В. И. Коржика, Л. М. Финка «Помехоустойчивое кодирование дискретных сообщений в каналах со случайной структурой», где найдены лишь граничные оценки для этой величины.

В завершении автор представляет результаты трассовых испытаний реального образца аппаратуры коротковолновой радиосвязи, участником создания которой он является. Этот несомненно положительный фактор выгодно отличает его работу от многих диссертаций, в которых даются лишь общие рекомендации по внедрению полученных результатов.

Достоинством работы соискателя, безусловно, является то, что все теоретические положения получены на высоком математическом уровне и с учетом разумных ограничений и допущений. Исследования, проведенные в рамках диссертационной работы, базировались на известном и апробированном математическом аппарате статистической теории связи, теории помехоустойчивого кодирования, теории вероятностей, статистической радиотехники и численного моделирования.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов соискателя с учетом корректности постановок решаемых задач, совпадения результатов, полученных аналитическим путем, моделированием на ЭВМ и на натурных испытаниях, а также с учетом непротиворечивости их

физическому пониманию и толкованию соответствует предъявляемым требованиям.

Основные научные результаты диссертационной работы апробированы на Международных и Всероссийских научно-технических конференциях, а также на Международном научно-техническом семинаре. Они широко опубликованы в научных изданиях, в том числе, двенадцать работ — в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК. Диссертантом получено тридцать патентов на изобретения и полезные модели. Всего по теме диссертации автор опубликовал 63 научные работы.

### **3. Значимость результатов для науки и практики**

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке семейства новых бестестовых («слепых») способов оценивания качественного состояния каналов с переменными параметрами, в том числе, с замираниями, которые могут использоваться при проектировании узлов адаптивного управления параметрами систем коротковолновой радиосвязи, приспособлявая их к реальным условиям передачи сообщений с учетом конкретной текущей сигнально-помеховой обстановки. В отличие от известных тестовых методов оценок состояния каналов радиосвязи это позволяет повысить скорость обмена информацией от 3 до 15%.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что полученные автором результаты использованы в НИОКР, проводимых в ПАО «РИМР», внедрены в программное обеспечение автоматизированного адаптивного комплекса технических средств радиосвязи «Пирс» и в другие аналогичные перспективные средства коротковолновой радиосвязи, предназначенные для объектов МО РФ и различных гражданских объектов. Практическая значимость диссертационной работы подтверждается положительными результатами трассовых испытаний реального образца адаптивного комплекса средств радиосвязи на трассе Санкт-Петербург-Североморск.

В дальнейшем результаты работы могут быть использованы в процессе разработки новых перспективных систем адаптивной коротковолновой радиосвязи.

#### **4. Замечания по диссертационной работе**

К диссертационной работе, помимо отмеченных выше по тексту, можно высказать следующие замечания.

1. Название диссертации является неудачным. Слово «способы» обычно применяется в изобретениях. Использование данного термина было бы оправданным, если бы подавляющим большинством изобретений автора были бы «Способы...». Однако большая часть патентованных изобретений являются «Устройствами...». Целесообразнее в названии диссертации использование слова «метод».

2. Ряд предложенных автором способов оценки состояния канала радиосвязи основан на сигналах с абсолютной дискретной фазовой модуляцией. Тем не менее, автором нигде не дается даже намек, как для таких сигналов решается проблема исключения инверсного приема посылок. Если здесь должен применяться пилот-сигнал для реализации синхронного приема, то возникает вопрос, почему его нельзя применить в комплексе с бестестовыми способами, которые разработал автор диссертации, что дало бы в итоге, так называемый «полуслепой» метод оценки, который мог бы сочетать достоинства тестовых и бестестовых методов оценки состояния канала радиосвязи.

3. При проведении исследований помимо других помехоустойчивых кодов автор рассмотрел код с одной проверкой на четность и код Хэмминга, исправляющий одну ошибку. Данные коды в коротковолновых каналах радиосвязи не имеют практического применения. Следовало выбрать практически применимые в этих случаях коды, в частности каскадные на основе кодов БЧХ и Рида-Соломона, код с постоянным весом и др. Сверточное кодирование в названных каналах реализуется в режиме

«мягкого» декодирования с применением алгоритма Витерби (см., например, модем марки R4 для коротковолновой радиосвязи). И это также следовало учесть.

4. Автором не учтено влияние на процесс функционирования адаптивных систем радиосвязи сосредоточенных гармонических помех, которые вследствие ограниченности частотного ресурса коротковолновых радиоканалов играют существенную негативную роль при обмене информацией.

5. Коротковолновые каналы радиосвязи вследствие замираний характеризуются группированием ошибок. Но в рамках второго научного результата автор воспользовался биномиальной моделью потока ошибок. Это может быть справедливым при использовании перемежителей, что никак не учтено в диссертации.

6. Автором разработано большое число технических решений, защищенных патентами на изобретения, но в диссертации нет ни одной схемы, и это затрудняет ее чтение и понимание некоторых результатов.

7. Имеются отдельные стилистические погрешности, например, на с. 66, 72, 94, 114 и др. Результаты вычислений по полученным в работе соотношениям в виде графических зависимостей в ряде случаев не имеют подробных пояснений, что также затрудняет их понимание

## **5. Заключение**

Отмеченные недостатки не являются определяющими при оценке диссертации. Она является завершенной, целостной научно-квалификационной работой. В ней содержатся новые научно обоснованные технические решения и разработки для обеспечения необходимой помехоустойчивости приема и скорости передачи многопозиционных сигналов в адаптивных комплексах коротковолновой радиосвязи, имеющие существенное значение для развития страны.

Оформление диссертации соответствует установленным требованиям,



автореферат в целом правильно отражает ее содержание, но, как и основной текст диссертации, не имеет ни одной схемы с техническими решениями, что затрудняет понимание излагаемого материала.

Диссертационная работа отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, соответствует научной специальности 05.12.13 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», а ее автор Смаль Михаил Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент

доцент кафедры средств связи Военного института (дополнительного профессионального образования) ВУНЦ ВМФ «ВМА»,

Заслуженный работник высшей школы РФ,

доктор технических наук, профессор

Р. Р. Биккенин

«02» марта 2018 г.

Подпись доцента кафедры средств связи Военного института (дополнительного профессионального образования) ВУНЦ ВМФ «ВМА», Заслуженного работника высшей школы РФ, доктора технических наук, профессора Рафаэля Рифгатовича Биккенина заверяю

Заместитель начальника Военного института ДПО ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» капитан 1 ранга



О. Игнасюк

«5» 03 2018 г.

Военный институт (дополнительного профессионального образования) ВУНЦ ВМФ «ВМА», 195112, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 80/12, (812) 444-3543