



Утверждаю

Заместитель генерального директора
по научно-техническому развитию
АО «Концерн «Созвездие»

Н.М. Радько

« 29 » 01 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Акционерное общество «Концерн «Созвездие»

на диссертационную работу Лернера Ильи Михайловича
«Модели и методы повышения пропускной способности радиотехнических систем передачи информации в частотно-селективных каналах связи с межсимвольными искажениями», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

1. Актуальность темы исследования

Проблема повышения удельной пропускной способности в условиях воздействия дестабилизирующих факторов в настоящее время является одной из центральных проблем современных цифровых систем связи.

Особенно остро это проявляется в классе систем, работающих в среднеширотных ионосферных частотно-селективных каналах связи (ЧСКС), в которых основную дестабилизирующую роль играют межсимвольные искажения (МСИ) и квазибелый шум. К сфере их применения относится резервная связь, которая должна обеспечить передачу информации в условиях техногенных катастроф, в том числе на большие расстояния; служебная связь различного назначения (морская и наземная радиосвязь, связь в условиях боевых действий и т.д).

В этой связи особое внимания требует решение научной проблемы повышения эффективности работы радиотехнических систем с последовательной передачей информации, в которых применяются многопозиционными фазоманипулированными и амплитудно-фазоманипулированными сигналами (далее – фазовые РСПИ ППИ), которые обладают большей спектральной эффективностью по сравнению с системами, использующие ортогональное частотное разделение каналов. Указанные обстоятельства позволяют констатировать актуальность выбранной темы диссертационной работы И.М. Лернера и решаемой в ней научной проблемы.

2. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Новизна исследования диссертационной работы заключается в том, что соискателем предложен новый подход к решению указанной научной проблемы для класса фазовых РСПИ ППИ, оформленный в виде новой научной теории – теории разрешающего времени (ТРВ), применительно к указанному классу радиосистем. Отличительными особенностями предложенного автором подхода, в отличие от существующих методов обработки сигналов, является то, что автором разработаны новые, адекватные физическим условиям, математические модели для указанного класса систем, функционирующие в ЧСКС при наличии МСИ, новые методы и адаптивные алгоритмы выбора оптимальной длительности символа, которые, в том числе, обеспечивают требуемый минимальный уровень принимаемого сигнала на основании анализа КЧХ канала с учётом действия дестабилизирующих факторов, ошибок измерений, в т.ч. обусловленных аддитивным флуктуационным квазибелым шумом и имеют низкую вычислительную сложность. Всё это, в совокупности, обеспечивает заданную вероятность корректного приема каждого канального символа и позволяет избежать тех проблем, которые свойственны существующим методам обработки сигналов. В частности, когда скорость передачи выбирается не адаптивно к свойствам ЧСКС наблюдается потеря различимости отдельных составляющих на частотах занимаемой полосы сигнала, приводящая к невозможности восстановления на приемной стороне определенных пар комбинаций канальных символов. Это частично компенсируется помехоустойчивым кодированием, но снижает пропускную способность и увеличивает требования к вычислительным ресурсам системы в целом.

К наиболее значимым научным результатам, полученным в диссертационной работе автором, имеющих важное значение для развития современной теории связи являются:

1. Развитие метода медленно меняющихся амплитуд (ММА) С.И. Евтянова для анализа переходного процесса в фазовых РСПИ ППИ, работающих в ЧСКС при наличии МСИ. Благодаря этому был выявлен ряд новых физических свойств и явлений, которые стали базовыми для созданной автором теории разрешающего времени для фазовых РСПИ ППИ, построенной на базе теории разрешающего времени для информационно измерительных систем, работающих в основной полосе. К ним относятся: 1) наибольшее время установления мгновенной фазы достигается при значе-

ниях фазового скачка, близких к $\pm\pi/2$, а степень близости определяется задаваемой ошибкой установления; 2) для увеличения скорости передачи в ЧСКС можно использовать моменты времени достижения информативными параметрами стационарных значений до окончания процесса установления, при наличии затухающих колебаний. Благодаря этому выявлен новый режим работы фазовых РСПИ ППИ – режим «окон прозрачности», позволивший увеличить удельную пропускную способность РСПИ для ряда сложных ЧСКС, в среднем в 1,2...1,9 раза.

2. Создание теории разрешающего времени для класса фазовых РСПИ ППИ. Её составляющими являются: новые математические модели, адекватные среднеширотным декаметровым составным каналам связи; новый подход к оценке пропускной способности, использующий новый системный параметр – «разрешающее время»; новый нестатистический метод оценки эффективной памяти канала; новые методы оценки пропускной способности таких каналов с низкой вычислительной сложностью, которые не зависят от кратности модуляции или имеют постоянную вычислительную сложность; реализующие их алгоритмы и их программные реализации, обеспечивающие получение результативных оценок в реальном масштабе времени. Благодаря разработанной теории предложено принципиально новое техническое решение, реализующее адаптивное управление режимами работы фазовой РСПИ ППИ, с учётом новых методов оценки помехоустойчивости, которые учитывают основные дестабилизирующие факторы для таких систем и каналов: доплеровское расширение спектра, расстройку по частоте, неидеальности аналоговых цифровых преобразователей и ошибки измерений, точность восстановления несущей.

В рамках созданной теории необходимо отдельно отметить ряд важных новых результатов: а) получено правило выбора значения начальной фазы сигнального созвездия для обеспечения наибольшей помехоустойчивости приема канальных символов и отсутствие несократимой ошибки на символ, вызванной МСИ; б) получена оценка пропускной способности в замкнутой форме для ЧСКС с КЧХ резонансного фильтра при использовании ФМн-п-сигнала; в) показана возможность достижения значений потенциальной удельной пропускной способности в 9бит/Гц*с при использовании ФМн-4-сигнала в ЧСКС с КЧХ резонансного фильтра

Важно отметить, что в работе созданы новые инженерные методы анализа эффективности фазовых РСПИ ППИ, обеспечивающие: а) анализ основных свойств, связанных с влиянием формы АЧХ на свойства «окон

прозрачности», условий их появления; б) влияние ошибок измерений на стабильность «окон прозрачности» и изменении их свойств; в) определение достижимых значений по удельной пропускной способности с использованием «окон прозрачности» и возможность их применения для повышения пропускной способности с учетом конфигураций сигнальных созвездий ФМн- n - и АФМн- N -сигнала.

Разработаны: обобщенная структурная и функциональная схема фазовой РСПИ ППИ с адаптивным управлением режимами работы, реализующая принципы TRV для парциального 3кГц ионосферного декаметрового ЧСКС на базе отечественной платформы на базе ЦПУ «Эльбрус» в рамках ее применения для среднеширотных декаметровых ионосферных каналов с периодом квазистационарности от 300мс и более.

С помощью численного эксперимента доказан выигрыш по пропускной способности более чем на 25%, а по помехоустойчивости – не менее чем на 5,93дБ при вероятности ошибки на бит, равной 10^{-3} применительно к фазовой РСПИ ППИ, по отношению к результатам, достигаемым в стандарте STANAG 4539, при использовании ФМн-4-сигнала при наихудших условиях, а именно для ЧСКС с задержкой в 185мкс между лучами одинаковой мощности и доплеровским расширением 0,5Гц. Получены новые решения по аналогового-цифровой обработке сигналов.

3. Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Обоснованность и достоверность теоретических положений, выводов и заключения не вызывает сомнений и подтверждается, тем, что они сопровождаются корректным математическим обоснованием, а также результатами вычислительного эксперимента, которые не противоречат выводам отечественных и зарубежных ученых, опубликованных в ведущих научно-технических журналах и монографиях, а также широким обсуждением результатов диссертации на международных и российских конференциях.

4. Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации

Теоретическая значимость работы заключается: 1) в развитии метода ММА и выявлении новых свойств и явлений, использование которых позволяет повысить пропускную способность фазовых РСПИ ППИ в ЧСКС при МСИ; 2) в создании для РСПИ ППИ новой теории обработки сигналов на базе оценок пропускной способности ЧСКС и адаптивного управления работой РСПИ ППИ – теории разрешающего времени, в рамках которой разработаны новые математические модели ЧСКС, методы и

алгоритмы оценок пропускной способности и помехоустойчивости РСПИ при наличии дестабилизирующих факторов.

Практическая ценность работы заключается в создании новых высокоскоростных алгоритмов реального времени для определения разрешающего времени, пропускной способности и эффективной памяти (нестатистический алгоритм); в разработке функциональной схемы фазовой РСПИ ППИ для узкополосного декаметрового ионосферного канала, а также алгоритмов и временных диаграмм её функционирования; рекомендаций для практической реализации подсистем РСПИ; а также пакета прикладных программ для полноценного моделирования основных характеристик, новых способов и устройств аналого-цифрового преобразования для указанного класса РСПИ ППИ.

Перечисленные выше составляющие являются основой для создания нового класса систем передачи информации в ионосферных декаметровых каналах связи.

Полученные в диссертационной работе результаты внедрены в АО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко» при проведении инициативных НИР и НИЭР, выполняемых предприятием в целях разработки новых методов и технических средств специального назначения; в АО «Казанское приборостроительное конструкторское бюро» при формировании научно-технического задела (в форме инициативных работ и апробации) для последующего проведения НИР и ОКР, в частности при разработке телеметрических систем нового поколения и обеспечения возможности их функционирования в узкополосных частотно-селективных каналах в интересах авиационной промышленности и отраслей топливно-энергетического комплекса; в Казанском национальном исследовательском техническом университете им. А.Н. Туполева – КАИ при проведении работ по договору 06-114-ц-Г 2018 АН РТ от 31.10.2018 с академией наук Республики Татарстан по теме «Адаптивный алгоритм обработки сигналов подвижной связи в сложных флуктуирующих негауссовских помехах», в рамках выполнения гранта РФФИ 18-37 00440 по теме «Теоретические аспекты повышения пропускной способности фазовых радиотехнических систем передачи информации, работающих при сильных межсимвольных искажениях в линейных избирательных системах радиотракта, в рамках выполнения гос. задания №8.5635.2017/БЧ «Исследование принципов взаимодействия специальных программно-определяемых комплексов, работающих в информационном поле»; в образовательный

процесс при подготовке инженеров по направлению подготовки 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиоэлектронного оборудования» в Казанском национальном исследовательском техническом университете им. А.Н. Туполева – КАИ.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Считаем необходимым рекомендовать использовать разработанные в диссертации теорию разрешающего времени для фазовых РСПИ ППИ, которая включает новые математические модели и методы оценки пропускной способности, разрешающего времени и помехоустойчивости РСПИ ППИ и реализующие их алгоритмы для узкополосного декаметрового ионосферного частотно-селективного канала, рекомендации по её реализации, а также оригинальное программное обеспечение, реализующие в т.ч. инженерные методы анализа указанного класса систем в теории и практике создания современных систем и устройств служебного назначения, работающих в ионосферных каналах связи.

Результаты и выводы диссертации могут быть использованы в научно-исследовательских организациях и предприятиях, осуществляющих разработку и создание новых устройств обработки радиосигналов в условиях сильных межсимвольных искажений, в частности, в АО «Сарапульский радиозавод» (г. Сарапул), АО «Концерн «Созвездие» (г. Воронеж), АО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко» (г. Казань), ООО «Научно производственное предприятие «Прима» (г. Н.Новгород), АО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца» (г. Москва), АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем» (г. Самара).

6. Общая оценка диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников, списка сокращений и условных обозначений и шести приложений. Работа изложена на 665 страницах, содержит 236 рисунков и 24 таблиц. Список использованных источников включает 424 пункта.

Содержание и структура диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования, что подтверждает наличие последовательного структурированного плана исследования.

Диссертация является завершенным научным исследованием, направленным на решение поставленной *научно-технической проблемы* –

теоретическое обоснование и разработка новых моделей и методов обработки ФМн-п- и АФМн-Н- сигналов на базе адаптивного управления режимами работы РСПИ ППИ, функционирующих в ЧСКС при МСИ, с целью повышения их пропускной способности.

Выдвигаемые соискателем основные положения, выносимые на защиту, а также сформированные в диссертации выводы и рекомендации, как результаты исследования, являются новыми и сомнений не вызывают.

Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 67 печатных работах, из которых 25 работ опубликованы в рецензируемых журналах из перечня ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, рецензируемых журналах, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science по искомым специальностям, десять объектов интеллектуальной собственности (два патента на изобретение и восемь свидетельств о регистрации программ для ЭВМ), и неоднократно обсуждались на международных и российских научно-технических конференциях.

Диссертационная работа соответствует:

по специальности 2.2.13. «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» следующим пунктам её паспорта:

п.1 Исследование процессов и явлений в радиотехнике, позволяющих повысить эффективность радиотехнических устройств и систем.

п. 15 Разработка и исследование физических, математических и гибридных имитационных моделей радиотехнических устройств и систем, включая системы и устройства аналогового и цифрового телевидения и оптикоэлектронных устройств.

по специальности 2.2.15. «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» следующим пунктам её паспорта:

п. 1. Разработка, и совершенствование методов исследования, моделирования и проектирования сетей, систем и устройств телекоммуникаций.

п. 2. Исследование новых технических, технологических и программных решений, позволяющих повысить эффективность развития цифровых сетей, систем и устройств телекоммуникаций.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

Замечания по диссертационной работе:

- В разделе 4.6. на стр. 323 указано, что конкретное значение параметра $\Delta G_1 \in \overline{0;5}$ при оценке пропускной способности численным методом, определяется из анализа динамики поведения зависимости $\hat{G}\left(\overset{\circ}{U}(t_{\text{раз}_1})\right)$. При этом остается неясным, каким образом производится этот анализ, что требует дополнительного пояснения, поскольку этот факт существенным образом влияет на объем вычислений.

- В разделах 4.2 – 4.5 представлены аналитические и численные методы оценки разрешающего времени и пропускной способности частотно-селективного канала связи, а в разделе 5.1 – временные оценки программных реализаций алгоритмов, которые их реализуют. При этом остаётся неясным какой конкретно численный метод использовался для решения нелинейных алгебраических уравнений для оценки наибольшего времени установления в обоих случаях.

- В разделах 5.1 представлены интегральные оценки затрачиваемого времени на оценку разрешающего времени и пропускной способности с помощью разработанных алгоритмов. Однако для практической реализации алгоритмов на программируемых логических интегральных микросхемах целесообразно было представить временную диаграмму выполнения, каждого из этапов реализации этих методов.

- В тексте диссертации в ограниченном объеме имеются опечатки и стилистические неточности.

- В автореферате имеется опечатка в формуле на стр. 35 $\Delta_0 = \Delta_{\text{доп}}/\Delta_{\text{ш}}$ должно быть $\Delta_0 = \Delta_{\text{доп}}/\Delta M_{\text{ш}}$.

Указанные замечания не снижают научную значимость и практическую ценность полученных результатов диссертационной работы И.М. Лернера

7. Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Диссертация «Модели и методы повышения пропускной способности радиотехнических систем передачи информации в частотно-селективных каналах связи с межсимвольными искажениями» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной проблемы, имеющей важное значение для развития технико-технологического уклада страны в отрасли цифрового развития

и связи и повышения её обороноспособности, заключающейся в теоретическом обосновании и разработке новых моделей и методов обработки ФМн-п- и АФМн-Н- сигналов на базе адаптивного управления режимами работы радиотехнических систем с последовательной передачей информации, функционирующих в частотно-селективных каналах связи при наличии межсимвольных искажений с целью повышения их пропускной способности и помехоустойчивости.

2. Отмеченные в отзыве замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Лернера Ильи Михайловича. А сама работа соответствует критериям, предъявляемым в отношении кандидатских/докторских диссертаций, которые установлены пп. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), а ее автор Лернер Илья Михайлович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальностям 2.2.13. – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, 2.2.15. – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Отзыв обсужден на заседании научно-технического совета АО «Концерн «Созвездие» 12 января 2024 г. протокол № 7.

Отзыв составил:

доктор технических наук, с.н.с. Тихомиров Николай Михайлович,
начальник научно-технического управления научно-технического центра
«Техника радиосвязи» акционерного общества «Концерн «Созвездие»
(394018, г. Воронеж, ул. Плехановская, д.14).

Рабочий телефон +7 (473) 252-1253, e-mail: n.m.tihomirov@sozvezdie.su.

 Н.М. Тихомиров

Акционерное общество «Концерн «Созвездие»

Адрес: 394018, г. Воронеж, улица Плехановская, 14

Телефон: +7 (473) 252-12-13

E-mail: office@sozvezdie.su

Вебсайт: <https://www.sozvezdie.su/>