

«УТВЕРЖДАЮ»

Член Правления – Начальник КБ

ПАО «Ярославский радиозавод»



С. С. Поелуев

«08» 02 2021 г.

О Т З Ы В

ведущей организации ПАО «Ярославский радиозавод» на диссертационную работу **Кисельникова Андрея Евгеньевича** «Алгоритмы идентификации типов искажения сигналов с цифровой модуляцией на основе анализа вектора ошибок», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность выполненной работы

Диссертационная работа посвящена одному из актуальных направлений в сфере телекоммуникационных систем и устройств – метрикам оценки качества сигналов. В работе рассматриваются как вопросы оценки качества излучаемых в эфир сигналов, так и оценки искажений сигналов в приемных и передающих устройствах.

Результатом работы большинства широко распространённых метрик и методик оценки качества передаваемых и принимаемых сигналов является информация об их усредненном отклонении от эталонной математической модели сигнала. Как правило, они не предоставляют какой-либо информации о воздействующем на сигнал искажении. В частности, использование стандартных метрик не позволяет различить между собой влияние шумов и воздействие искажения сигнального созвездия.

Основной фокус работы направлен на разработку методик и алгоритмов, позволяющих различить между собой влияние на сигнал различных типов искажений, возникающих в устройствах формирования и приема сигналов.

Данные обстоятельства придают проведенным в ходе выполнения работы исследованиям важное теоретическое и практическое значение для развития области телекоммуникаций и ряда смежных областей.

Научная новизна и достоверность проведенных исследований и полученных результатов

Наиболее значимые научные результаты, полученные в ходе проведения диссертационных исследований, заключаются в следующем:

- Разработан алгоритм детектирования и компенсации искажения сигнального созвездия BPSK на основе анализа вектора ошибок и статистических характеристик телекоммуникационных систем, основной особенностью которого является способность компенсировать искажение созвездия сигнала BPSK в отличие от широко распространенных алгоритмов слепой компенсации.
- Разработана методика идентификации типа искажения сигнала с модуляцией QPSK – QAM-4, позволяющая идентифицировать и различать такие искажения, как амплитудный и фазовый разбаланс квадратур.
- Разработана методика идентификации искажений сигнала QAM-16, основанная на анализе поведения вектора ошибок при передаче различных канальных символов.

В целом, результаты, полученные автором, являются новыми научными знаниями в области метрик оценки качества сигналов. Теоретические и практические результаты работы не противоречат данным, представленным в работах других авторов, посвященных сходной тематике.

Также достоверность основных положений и полученных результатов подтверждается:

- корректным использованием математического аппарата общей теории связи, теории вероятностей, теории цифровой обработки сигналов;
- результатами моделирования, включающими сравнение с подобными известными алгоритмами;
- актами внедрения предложенных алгоритмов и разработанного программного обеспечения;

- апробацией результатов диссертационной работы на международных и всероссийских конференциях.

Практическая значимость

Практическая значимость проведенных в ходе выполнения работы исследований заключается в следующем:

- Предложенные алгоритмы и методики обладают высокой степенью интегрируемости с современным измерительным оборудованием и телекоммуникационными устройствами, построенными по архитектуре программно-определяемого радио, в результате чего их внедрение не требует существенных затрат.
- Алгоритм обнаружения и идентификации искажения созвездия с BPSK модуляцией обеспечивает повышение помехоустойчивости телекоммуникационной системы до 1,3 дБ.
- Предложенная методика идентификации типа искажения сигнала с QPSK обеспечивает различение фазового разбаланса при его величине более 10° и амплитудного разбаланса от -20 дБ в зависимости от отношения сигнал/шум (ОСШ).
- Методика идентификации искажения сигнала с модуляцией QAM-16 обеспечивает возможность различать фазовый и амплитудный типы разбаланса квадратур, смещение сигнального созвездия и его нелинейное искажение при их величине от более чем 5° , отношении квадратур более 0,95 и смещении более 0,05 от квадратурной/синфазной составляющей символа созвездия с минимальной энергией.
- Разработано программное обеспечение, позволяющее проводить анализ и расчет чувствительности радиоприемного тракта, а также определять изменение чувствительности при внесении искажений для цифровых видов модуляции.
- Результаты работы внедрены в соответствующие разработки ООО «Тендерленд» и ООО «Автетикс» (г. Ярославль). Отдельные результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова в рамках дисциплины «Беспроводные сети связи». Все результаты внедрения подтверждены соответствующими актами.
- Предложена методика создания моделей телекоммуникационных устройств в среде MATLAB Simulink, которые максимально точно

соответствуют параметрам усилительного модуля, выбранного разработчиком, и позволяют оценить вносимые нелинейные искажения.

Апробация работы

Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научных и научно-технических конференциях:

- X, XII Международных конференциях «Перспективные технологии в средствах передачи информации», Владимир-Суздаль, 2015, 2017;
- Международной конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий», Москва, 2016;
- XIV, XIX Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение», Москва, 2012, 2017;
- Двадцать первой международной конференции FRUCT, Хельсинки, 2017.

Основные публикации по теме исследований

По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, из них 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций, две публикации в научных изданиях, индексируемых Scopus и IEEE Explore, 7 докладов на научных конференциях; получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе не приведены результаты синтеза разработанных алгоритмов и методик из среды MATLAB в исполняемый код для сигнальных процессоров или ПЛИС.

2. В ходе исследования не рассматривается возможность идентификации частотно-селективных замираний в канале распространения.

3. Все исследования, проведенные в работе, осуществляются при помощи построения математических моделей систем связи и проведения статистических экспериментов путем симуляции в среде моделирования. Для подтверждения достоверности представленных результатов было бы предпочтительно провести также полунатурные эксперименты.

4. В оформлении работы присутствуют некоторые неточности и ошибки.

Заключение

На заседании научно-технического совета ПАО «Ярославский радиозавод» утверждено, что диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне, и соответствует паспорту специальности 05.12.13 Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Приведенные в отзыве недостатки не умаляют научной и практической значимости исследований, проведенных соискателем. В целом работа производит положительное впечатление и подтверждает высокую квалификацию соискателя.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа «Алгоритмы идентификации типов искажения сигналов с цифровой модуляцией на основе анализа вектора ошибок» соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Кисельников Андрей Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Инженер-конструктор КБ
ПАО «Ярославский радиозавод»,
к.т.н.

 Евгений Владимирович Сергеев

Почтовый адрес: г. Ярославль, ул. Марголина 13, 150010

Телефон +7(4852) 48-73-72

yarz@yarz.ru