

## **Отзыв официального оппонента**

кандидата технических наук, доцента А.Н. Кислякова на диссертационную работу Л.В. Поздняковой «Развитие методов коррекции комплексной передаточной характеристики в системах с ортогональным частотным разделением каналов и мультиплексированием», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

### **Актуальность темы**

Многолучевое распространение радиосигналов из-за отражения от поверхности земли, зданий, строений и прочих объектов приводит к искажению параметров сигнала. То есть различные частотные составляющие спектра сигналов могут поступать на вход приемника с изменением своих амплитуд и фаз, таким образом искажается форма принимаемых сигналов, что затрудняет их правильную обработку и, следовательно, снижает скорость передачи данных по радиоканалу. Коррекция комплексной передаточной характеристики (КПХ) позволяет восстановить принятый спектр сигнала, т.е. скорректировать его по амплитуде и подстроить фазовые набеги по всем спектральным составляющим, чтобы с наименьшим количеством ошибок демодулировать сигнал. В OFDM коррекция КПХ, как и синхронизация, осуществляется по преамбуле. Общеизвестные способы синхронизации предполагают использование преамбулы с определенным спектральным составом (используется преамбула, которая во временной области имеет 2 или более повторяющиеся части), что накладывает ограничение на возможность ее изменения.

Таким образом, в настоящее время существует актуальная научная и техническая задача разработки и внедрения эффективных алгоритмов и методик компенсации влияния комплексной передаточной характеристики системы связи на принятый сигнал, а также временной, тактовой и частотной синхронизации OFDM устройств.

### **Новизна полученных результатов заключается в следующем:**

1. Предложен алгоритм коррекции комплексной передаточной характеристики по преамбуле и пилот-поднесущим, использующий расчет только в ортогональной системе координат и преамбулу, не имеющую во временной области повторяющихся частей. Показано, что применение разработанного алгоритма повышает точность коррекции.
2. Разработан и исследован алгоритм временной синхронизации для преамбулы, имеющей дискретно-непрерывный набор частотных компонент, основанный на использовании функции взаимной корреляции в качестве

решающей функции и суммы значений решающей функции вместо ее максимума при установке порогового коэффициента. Показано, что предложенный способ временной синхронизации приводит к повышению помехоустойчивости за счет резкого сужения области максимума решающей функции.

3. Предложены методики тактовой и частотной синхронизации за счет осуществления временной синхронизации. Показано, что в случае единого опорного генератора выполнение тактовой синхронизации приведет к частотной синхронизации.

**Практическими результатами работы являются:**

1. Применение разработанного алгоритма коррекции КПХ по преамбуле и пилот-поднесущим позволило повысить помехоустойчивость коррекции на 1,3 дБ по сравнению со стандартным алгоритмом, применяющим в расчетах полярную систему координат.

2. Использование разработанного алгоритма коррекции КПХ в аппаратуре связи позволило уменьшить количество занимаемых логических элементов на ПЛИС с 42400 до 38120 за счет исключения модулей CORDIC.

3. Созданы программы моделирования коррекции КПХ, которые имитируют прием OFDM сигнала, осуществляют расчет обратной КПХ и производят коррекцию спектра. Программы позволяют задавать различные параметры: уровень шумов, имеющих Гауссов закон распределения; полосу пропускания шумов, длину циклического префикса, частоту дискретизации, сдвиг от начала символа и вид модуляции. Программы позволяют оценить точность коррекции при различных уровнях шумов.

4. Создана программа моделирования способа временной синхронизации, которая определяет дисперсию оценки временного положения преамбулы от ее идеального положения для различных отношений сигнал/шум в АБГШ канале. Компьютерная программа позволяет оценить пороговое отношение сигнал/шум для различных размерностей преамбулы. При использовании преамбулы с полезной длительностью 1024 точки отсутствуют ложные обнаружения и пропуски даже при отношении сигнал/шум равном -6 дБ для выборки из 100 000 реализаций.

**Достоверность** полученных автором результатов не вызывает сомнений, т.к. определяется корректным использованием математического аппарата и компьютерным моделированием, а также практическим использованием, о чем свидетельствует акты внедрения полученных докторантом результатов в ООО «Предприятие по модернизации авиационных комплексов», а также в учебный процесс кафедры радиотехники и радиосистем ВлГУ. Автором получено положительное решение о выдаче патента РФ на «Способ временной

синхронизации системы связи на основе ортогонального частотного разделения каналов с мультиплексированием по преамбуле», а также три свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Материалы диссертации прошли **апробацию** в виде выступлений автора на научно-технических конференциях, и в виде публикаций в сборниках трудов и журналах.

Диссертационная работа состоит из перечня используемых сокращений, введения, трёх глав, заключения, списка используемой литературы и приложений. Общий объём диссертации 170 страниц, в том числе 119 страниц основного текста.

**Во введении** содержится постановка проблемы, указывается объект и предмет исследования, цель работы, приводится описание аппарата исследования.

**В первой главе** автором проведен обзор методов коррекции комплексной передаточной характеристики в OFDM системах, методов синхронизации приемо-передающих устройств, а также подробно описана сама технология ортогонального частотного разделения каналов с мультиплексированием (OFDM). Показано, что способы временной синхронизации работают с преамбулами, имеющими повторяющиеся участки во временной области. Приведены достоинства и недостатки методов коррекции КПХ и синхронизации. Рассмотрено применение pilotных поднесущих символов для коррекции КПХ.

**В второй главе** исследуются методы коррекции комплексной передаточной характеристики на основе преамбулы и pilot-поднесущих. Диссертантом предложено использовать преамбулу, не имеющую во временной области повторяющихся участков. Предложенная преамбула содержит весь набор спектральных компонент, необходимых для определения и коррекции КПХ. Так же предложен способ временной и тактовой синхронизации для используемой преамбулы. Представлен алгоритм коррекции, работающий с целочисленными значениями, который оптимизирован для реализации в аппаратуре.

**В третьей главе** представлена программа моделирования и результаты моделирования предложенного алгоритма коррекции КПХ и алгоритма, использующего в расчетах полярную систему координат. Приводятся результаты сравнения алгоритмов коррекции с учетом помехоустойчивого кодирования для модуляций QAM16, QAM64. Представлено моделирование предложенного способа временной синхронизации. Показано, что помехоустойчивость временной синхронизации значительно увеличилась.

**В заключении** сформулированы основные результаты работы, сделаны выводы о ее практической значимости.

**В приложении** приведены алгоритмы по которым функционируют программы моделирования, представлены результаты моделирования, а также свидетельства о регистрации программ для ЭВМ и акты внедрения, подтверждающие практическое использование результатов диссертационной работы.

Основные положения и выводы, сформулированные в работе, обоснованы, проверены и отражены в научных публикациях. Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертации.

В качестве замечаний по диссертационной работе следует отметить следующее:

1. При описании спектра преамбулы используется понятие «дискретно-непрерывный набор спектральных компонент», однако в работе нет четкого раскрытия этого понятия.
2. В работе не приведено сравнение быстродействия предложенного алгоритма коррекции с существующими методами коррекции КПХ.

Несмотря на указанные замечания, диссертация Лидии Васильевны Поздняковой является завершенной научно-исследовательской работой, содержащей разработку методик, алгоритмов и программных средств определения и коррекции КПХ, а также синхронизации на основе методов цифровой обработки массива данных мгновенных значений, функционирующих в режиме реального времени и имеющих точностные характеристики, достаточные для практических приложений.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа Л.В. Поздняковой соответствует специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения», удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры информационных технологий  
Владимирского филиала РАНХиГС

А.Н. Кисляков

10.01.2017

Подпись Кислякова А.Н. заверяю

*Ведущий специалист*



*об ученко*