

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертационную работу Левченко Андрея Сергеевича  
«Разработка методов повышения эффективности передающих и  
приёмных средств цифровых радиосистем передачи данных»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства  
телевидения

Левченко Андрей Сергеевич работает в АО «Российские космические системы» с 2013 года (с 2016 года по настоящее время в должности начальника сектора), обучался в аспирантуре ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» с 2013 по 2017 год. Настоящая диссертационная работа посвящена части работ, выполненных им за 2013-2017 гг. на кафедре радиотехнических приборов и антенных систем ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», и отражает его вклад в исследование методов повышения эффективности цифровых эфирных систем передачи данных.

**Актуальность темы диссертации.** Диссертация посвящена разработке методов повышения эффективности цифровых систем радиопередачи данных, в которых широко используются сигналы с ортогональным частотным разделением каналов (ОЧРК), позволяющие достичь высокой скорости передачи данных, сохраняя высокую помехоустойчивость приёма даже в условиях многолучевого распространения. Ортогональное частотное разделение каналов, которое в российской литературе также называют модуляцией OFDM, применяется в таких системах передачи данных как WiFi, WiMAX, LTE, в вещательных системах DVB-T/T2, ISDB-T, DTMB/DTMB-A, ATSC 3.0, T-DAB, T-DMB/AT-DMB, DRM и отечественной системе РАВИС. Левченко А.С. рассмотрел один из существенных недостатков систем передачи данных, основанных на модуляции OFDM – высокий пик-фактор сигнала. Несмотря на то, что решению этой проблемы было посвящено множество работ, им были предложены усовершенствованные методы снижения пик-фактора, обеспечившие дополнительный выигрыш в 0,2-1,7 дБ (а в отдельных режимах – до 3,3 дБ).

Другая важная проблема, рассматриваемая в работе Левченко А.С. – влияние многолучевого распространения сигнала при вещании в ОВЧ-диапазоне частот. Эффекты, возникающие при таком распространении (частотно-селективные и амплитудные замирания) приводят к необходимости использования на приёмной стороне эквалайзера канала, который осуществляет оценку состояния канала (с использованием пилотных символов, пилотных несущих, псевдослучайного префикса и т.д.).

Даже при использовании квазиоптимального эквалайзера с Винеровской фильтрацией, что сопряжено с большими вычислительными затратами, при подвижном приёме постоянно изменяющиеся свойства радиоканала приведут к наличию ошибки оценки состояния канала на информационных несущих. Используемые в реальной приёмной аппаратуре более простые методы эквализации усугубляют эту ситуацию. Наличие ошибки оценки состояния канала при демодуляции принятого сигнала приводит к появлению мультипликативного шума.

Автором предложены методы, позволяющие учесть мультипликативную составляющую ошибки на приёмной стороне и тем самым обеспечить более надёжную передачу данных в каналах с многолучевым распространением сигнала.

В диссертационной работе получены следующие **научные результаты**:

1. проведен сравнительный анализ существующих методов снижения пик-фактора (SLM, TR, ACE) и оценена эффективность их применения на примере системы РАВИС;
2. разработан двухступенчатый метод снижения пик-фактора для системы РАВИС, позволяющий обеспечить низкий пик-фактор одновременно при малом и большом числе поднесущих;
3. разработана модификация метода резервирования тона, позволяющая увеличить его эффективность при узкой полосе сигнала за счет использования внеполосного излучения без выхода за пределы допустимой спектральной маски;
4. разработан метод демодуляции сигнала, позволяющий снизить вероятность битовой ошибки при приёме OFDM сигнала в многолучевом канале распространения за счет учета мультипликативной составляющей ошибки;
5. разработан способ расчета логарифма отношения правдоподобия при демодуляции сигнала OFDM-сигнала при использовании техники поворота сигнального созвездия.

**Основным практическим результатом** диссертационной работы являются эффективные методики снижения пик-фактора OFDM-сигнала для конкретной системы вещания и повышение надежности приема сигнала в многолучевом канале распространения за счет учета мультипликативной составляющей ошибки, являющейся следствием ошибки оценки характеристики канала, как при использовании техники поворота сигнального созвездия, так и без него.

Основные теоретические и практические **результаты работы использованы** в системе РАВИС. Разработанные схемы снижения пик-фактора

и усовершенствованной демодуляции сигналов OFDM внедрены в учебный процесс кафедры мультимедийных технологий и телекоммуникаций МФТИ.

**Достоверность и обоснованность** полученных научных и практических результатов обеспечивается:

- применением математических моделей, достаточно полно отражающих все существенные свойства исследуемых объектов;
- выбором объемов моделирования, достаточных для получения достоверных результатов;
- сопоставлением результатов моделирования с результатами экспериментов.

**Полнота публикации материалов диссертации** подтверждается изложением основных положений диссертации в 3 статьях из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России (доля участия автора – 96%), одной статьи в иностранном журнале, входящем в базы данных SCOPUS и WebOfScience (доля участия автора – 100%), подачей заявки на патент (доля участия автора – 40%).

**Основные положения диссертационной работы апробированы** на шести международных научно-технических конференциях.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Левченко Андрей Сергеевич заслуживает присуждения степени ученой степени кандидата технических наук.

Профессор кафедры радиотехнических  
приборов и антенных систем,  
доктор технических наук,  
член-корреспондент РАН

А.В. Дворкович

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, г. Москва, Красноказарменная улица, д. 14.

Подпись Дворковича А.В. заверяю  
Ученый секретарь  
Ученого совета ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»



И.В. Кузовлев