



Утверждаю

И.о. генерального директора

ФГУП ЦНИИС

О.А. Бычкова

*Бычкова*

2021 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Поборчей Натальи Евгеньевны на тему: «Разработка эффективных методов и алгоритмов оценивания параметров канала связи в условиях априорной неопределенности», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

В проводных системах параметры каналов связи постоянны, в беспроводных – имеют случайный характер и маскируются шумами. Это обстоятельство значительно усложняет обеспечение высокого качества и высокой пропускной способности беспроводных каналов связи. Поэтому тема диссертации, посвященная разработке эффективных методов и алгоритмов оценивания параметров канала связи в условиях априорной неопределенности, представляется весьма актуальной.

В отличие от традиционной процедуры отдельной оценки параметров сигнала и канала связи автор поставила перед собой значительно более сложную задачу их совместной оценки.

Новый рекуррентный метод решения некорректно поставленных задач для совместного оценивания параметров канала связи и случайного сигнала, не требующий априорной информации о законах распределения мгновенных значений случайных процессов, разработан автором во второй главе диссертации. Разработка выполнена на основе факторизации нелинейного оператора модифицированного функционала Тихонова А.Н. и теории регуляризации, показывающей пути сходимости вычислительного процесса.

В третьей главе, на основе развитого во второй главе метода совместного оценивания параметров канала и сигнала, разработаны новые алгоритмы фазовой и тактовой синхронизации сигналов MSK, PSK и QAM, принимаемых на фоне аддитивного шума с неизвестным законом распределения в системах с простыми антеннами SISO (один вход один выход).

~ 1 ~

Вход. № 106/21  
« 16 » 08 2021 г.  
подпись *Зиц*

В четвертой главе синтезированы новые алгоритмы совместного оценивания параметров канала и искажений сигналов PSK, QAM в тракте приемника прямого преобразования в канале без замираний и в канале с доплеровским расширением спектра и релеевскими замираниями для систем SISO.

В пятой главе проведено исследование влияния априорной неопределенности относительно помех и шумов на работу алгоритмов, разработанных в главах 3,4, на основе метода, предложенного в главе 2.

В шестой главе проводится синтез и анализ новых алгоритмов совместного оценивания канала и искажений сигнала в приемнике прямого преобразования для систем с MIMO с  $N$  передающими и  $N$  приемными антеннами. Разработка алгоритмов выполнена на основе методов, разработанных в главе 2 и в главе 4.

В заключительной главе проведен синтез разработанных ранее методов и анализ новых алгоритмов совместного оценивания канала и искажений сигнала в приемнике прямого преобразования в системе с форматом сигнала OFDM.

Научная новизна результатов исследования заключается в следующем:

1. Предложен новый рекуррентный регуляризирующий метод совместной оценки параметров канала связи в условиях априорной неопределенности относительно распределения шумов, позволяющий с единых позиций решать, как линейные, так и нелинейные задачи с разными аппроксимирующими конструкциями.

2. Получено приближенное рекуррентное выражение в замкнутом виде для апостериорного нахождения параметра регуляризации, основанное на априорных данных относительно дисперсии аддитивного шума, позволяющее повысить точность оценивания при ограниченных выборках сигнала.

3. В условиях априорной неопределенности относительно статистических характеристик канала связи и законов распределения шумов предложен новый метод совместной оценки параметров нестационарного канала и сигнала, работающий как по тестовой, так и по информационной последовательности после детектирования.

4. На основе разработанного метода (п. 1) синтезированы новые рекуррентные алгоритмы совместной оценки параметров канала связи для задач фазовой и тактовой синхронизации, а также для компенсации искажений, вносимых приемником прямого преобразования, работающие как по тестовой последовательности, так и по информационным символам, позволяющие сократить длину тестовой последовательности и повысить точность оценивания.

5. На основе методов, предложенных в п. 1 и 3, для систем с MIMO синтезированы новые алгоритмы совместной оценки матрицы канала связи и

искажений, которые позволяют понизить объем вычислений по сравнению с известными методами совместного оценивания.

Практическая значимость диссертации заключается в следующих основных результатах:

1) синтезирован новый алгоритм нелинейной фильтрации для совместной оценки задержки, частоты и фазы сигнала MSK, использующий второе приближение по Тейлору при аппроксимации нелинейных уравнений наблюдений, который при некоторых отношениях сигнал/шум позволяет сократить длительность переходного процесса до 2 раз и повысить точность оценивания частоты при наличии фазового шума в 1,5 – 2 раза относительно известного алгоритма Стратоновича;

2) синтезирован новый регуляризирующий алгоритм совместной оценки задержки, частоты и фазы сигналов MSK, PSK, QAM, который позволяет сократить длину тестовой последовательности в 3-18 раз и повысить точность оценивания частоты и фазы в 3 и 4 раза соответственно относительно известного алгоритма Стратоновича;

3) для системы SISO в условиях стационарного канала получен новый регуляризирующий алгоритм совместной оценки амплитуды, фазы, частоты, амплитудно-фазового дисбаланса и постоянных составляющих сигналов PSK, QAM, более устойчивый к неточности априорных сведений относительно дисперсии аддитивного шума, чем известный алгоритм Стратоновича, позволяющий сократить длину тестовой последовательности и получить энергетический выигрыш до 4 дБ относительно известных процедур оценивания;

4) для системы с OFDM синтезирован новый алгоритм совместной оценки во временной области параметров канала и искажений сигнала в тракте приемника прямого преобразования, основанный на комбинировании процедуры с полиномиальными сплайнами с регуляризирующим алгоритмом, работающий по двум опорным символам, который позволяет совместить операции оценки и интерполяции множителей канала, а также обладает вычислительной сложностью, пропорциональной квадрату от объема выборки тестового сигнала, что ниже, чем известный алгоритм совместного оценивания (сложность пропорциональна третьей степени от объема выборки), и выигрывает в помехоустойчивости перед известной процедурой на основе статистического усреднения до 7 дБ; использование в комбинированном алгоритме известного метода Стратоновича приводит к понижению точности оценивания частоты в 1,5–3 раза, а также к понижению энергетической эффективности до 4 дБ при увеличении длины информационной последовательности с 28 до 40 символов.

Результаты диссертационной работы были опубликованы в 49 работах: 26 публикации в журналах, из них 18 из Перечня ВАК, 2 публикации входят в Web of Science; 18 докладов на конференциях, из них 5 публикаций в международной базе Scopus; 5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

В качестве замечания можно высказать следующий упрек.

Следовало подчеркнуть, что повышение точности оценивания частоты и фазы сигнала синхронизации особенно актуально при развертывании мобильных сетей поколений 5G/6G/7G.

Диссертационная работа Поборчей Натальи Евгеньевны на тему: «Разработка эффективных методов и алгоритмов оценивания параметров канала связи в условиях априорной неопределенности» является самостоятельной, завершенной, научной работой, научная обоснованность и практическая ценность результатов, апробация и публикация основных результатов позволяют сделать заключение о соответствии критериям, установленным Положением «О присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции Постановления Правительства РФ от 21.04.2016 г. № 335).

Тема и содержание диссертации полностью соответствует выбранной специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, а ее автор Поборчая Наталья Евгеньевна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Отзыв подготовил главный научный сотрудник НО-211 ФГУП ЦНИИС, доктор технических наук, старший научный сотрудник, Заслуженный работник связи Российской Федерации Цым Александр Юрьевич.

Подпись



Отзыв обсужден и одобрен на заседании НТС ФГУП ЦНИИС 02.08.2021 г.

Ученый секретарь НТС ФГУП ЦНИИС,  
кандидат технических наук



И.Д. Деарт