

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Самойлова А.Г. на диссертационную работу Морозова Никиты Сергеевича «Цифровая коррекция фазовых и дисперсионных искажений в каналах связи», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

**Актуальность.** При прохождении сигналов через многолучевые каналы с рассеянием информационные сигналы искажаются по амплитуде и по фазе. Сигналы с широкой базой получают дополнительные искажения из-за различной задержки частотных составляющих при их прохождении через канал. При приеме информации приходится выравнивать характеристики канала, применяя методы раздельной обработки и взвешенного суммирования результатов прохождения сигнала через фильтры с фазовыми характеристиками различной формы. Сейчас это осуществляют цифровыми фазовыми корректорами (ЦФК) или компенсаторами частотной дисперсии (КЧД), реализуемыми на основе цифровых фильтров с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) и на основе фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ). ЦФК и КЧД достаточно сложны в реализации и требуют значительных вычислительных затрат.

В работе Морозова Н.С. исследуются корректоры и компенсаторы частотной дисперсии на основе цифровых фазовых фильтров и получены целочисленные решения как цифровых корректоров фазовых искажений сигнальных трактов, так и компенсаторов линейно возрастающей и линейно падающей частотной дисперсии в канале связи. В отличие от решений, полученных другими методами, они обладают высоким быстродействием и малой вносимой в сигнал задержкой. Это и определяет актуальность темы исследования.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех разделов с выводами по каждому разделу, заключения, библиографического списка использованной литературы из 106 наименований и 3-х приложений. Объем работы составляет 97 страниц текста, в том числе 80 страниц основного текста, 36 рисунков и 5 таблиц.

**В первом разделе** представлено описание, структура и математическая модель цифрового фазового корректора на базе все пропускающего фильтра. Показан вариант устранения ошибок квантования коэффициентов при ограничении пространства возможных параметров конечным числом квантованных



значений. Приведена постановка задачи дискретного синтеза цифрового фазового корректора. Так же в этом разделе обоснована необходимость оценки малых девиаций сигнала для оценки которых введен коэффициент частотной дисперсии как вторая производная фазовой характеристики по частоте.

**Во втором разделе** рассматриваются основные этапы постановки задачи синтеза каскадных рекурсивных фильтров поисковыми методами целочисленного нелинейного программирования. Приводится постановка такой задачи, даётся оценка различных способов формирования целевых функций, приводится краткое описание алгоритма поисковой минимизации многомерных полиомальных целевых функций в целочисленном пространстве параметров.

**В третьем разделе** рассматриваются характерные примеры решения прикладных задач синтеза фазовых корректоров и компенсаторов частотной дисперсии сигнальных трактов с учетом возможностей программной или аппаратной реализации синтезированных фильтров на цифровых платформах с целочисленной арифметикой вычислений. Приведённые примеры иллюстрируют принципиальные возможности методологии целочисленного нелинейного программирования к многофункциональному поисковому синтезу цифровых систем.

**В четвертом разделе** рассматривается практическая реализация и измерение характеристик синтезированных при выполнении работы цифровых фазовых корректоров. Практическое исследование осуществлялось как в форме тестового компьютерного моделирования синтезированных фазовых корректоров на различных формах входных сигналов, так и форме прямого измерения частотных характеристик в реальном времени при программной реализации синтезированных корректоров на микроконтроллере.

**Обобщая полученные в работе результаты**, можно сделать вывод о том, что рассматриваемая диссертация по целям, поставленным задачам, методам решения, результатам, использованным подходам при анализе, а также сформулированным научным положениям соответствует паспорту специальности 2.2.13 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения по пунктам 5 и 14.

**Апробация результатов и публикации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 14 печатных работах: из них 6 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК и 8 публикаций тезисов докладов на научно-технических конференциях разных уровней. Наличие публикаций без соавторства подтверждает самостоятельность и личный вклад Морозова Н.С. в выполнении исследования.

**Аннотация** достаточно полно и верно отражает содержание диссертации, представляя краткое изложение всех основных выводов и результатов работы.

**Основные научные и практические результаты диссертации** состоят в следующем:

1. Получена дискретная модель корректоров и компенсаторов дисперсии на основе цифровых фазовых фильтров, которая, в отличие от известных моделей, позволяет устранить ошибки аппроксимации требуемых характеристик и ошибки квантования параметров.

2. Предложена методика синтеза рекурсивных фазовых фильтров непосредственно на квантованном целочисленном параметрическом пространстве.

3. Получены целочисленные решения как для цифровых корректоров фазовых искажений сигнальных широкополосных и узкополосных трактов, так и для компенсаторов линейно возрастающей и линейно падающей частотной дисперсии в линии связи.

4. Предложенные алгоритмы требуют для их практической реализации небольших вычислительных ресурсов, что позволяет использовать их в системах реального времени.

5. Значимость представленных в работе результатов для науки и практики заключается в том, что полученные в результате синтеза цифровые фазовые корректоры позволяют компенсировать фазовые искажения как широкополосного видеотракта, так и узкополосного радиоканала.

**Достоверность и обоснованность результатов и выводов** обеспечивается тем, что результаты диссертации согласуются с известными положениями теории цифровой обработки сигналов. Достоверность подтверждается данными компьютерного моделирования и экспериментальными исследованиями на лабораторных макетах.

#### **Замечания к диссертационной работе:**

1. В работе не показаны численные значения выигрыша от предложенных модели и алгоритмов по сравнению с известными решениями, хотя бы на примере вычислительных затрат.

2. Не рассмотрены ограничения на модели, используемые при компьютерном моделировании и адекватность моделей.

3. Работа ограничена рассмотрением только цифровых фильтров с действительными коэффициентами и не охватывает случаи комплексных весовых коэффициентов, важных при обработке комплексных сигналов.

4. Не понятно в каких целях в приложения включено «Заключение ...» организации, в которой выполнена работа. В тексте на него нет ссылок.



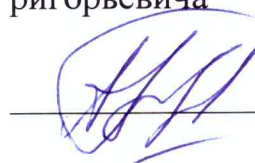
5. Распечатки разработанных программ следовало из текста вынести в приложения.

**Выводы.** Отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости диссертации и не затрагивают научных положений, вынесенных на защиту. По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям ВАК для кандидатских диссертаций.

Считаю, что диссертационная работа «Цифровая коррекция фазовых и дисперсионных искажений в каналах связи» является законченной научно-квалификационной работой в которой изложены новые научно обоснованные решения, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие цифровой обработки сигналов, а ее автор Морозов Никита Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

#### **Официальный оппонент**

Самойлов Александр Георгиевич, д.т.н., профессор,  
профессор кафедры Радиотехники и радиосистем,  
ФГБОУВО «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича  
Столетовых» - ВлГУ.



А. Г. Самойлов  
25 апреля 2022 г.

Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, РТиРС  
Телефон: +7(4922) 53-25-75  
E-mail: ags@vlsu.ru

Подпись д.т.н., профессора А.Г. Самойлова удостоверяю

Ученый секретарь Ученого совета ВлГУ



Т. Г. Коннова