

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 219.001.04 НА БАЗЕ  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАР-  
СТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫС-  
ШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ», ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ, ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 22 сентября 2016 г. № 3

О присуждении Соловьеву Дмитрию Михайловичу, гражданину РФ, уче-  
ной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и оптимизация широкополосного имитатора  
многолучевого радиоканала с частотно-временным рассеянием» по специаль-  
ности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»,  
принята к защите 1 июля 2016 г., протокол № 4, диссертационным советом  
Д 219.001.04, созданным на базе ордена Трудового Красного Знамени федераль-  
ного государственного бюджетного образовательного учреждения высшего обра-  
зования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУ-  
СИ), Федеральное агентство связи, 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, д.8а,  
приказ о создании диссертационного совета - № 244/нк от 03.03.2016 г.

Соискатель Соловьев Дмитрий Михайлович 1989 года рождения, в 2011 го-  
ду окончил ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Де-  
мидова» с присвоением квалификации радиоп физик по специальности «Радиофизи-  
ка и электроника». В 2015 г. окончил очную аспирантуру в ФГБОУ ВО «Ярослав-  
ский государственный университет им. П.Г. Демидова». Удостоверение о сдаче  
кандидатских экзаменов выдано в 2016 г. ФГБОУ ВО «Ярославский государствен-  
ный университет им. П.Г. Демидова». Работает в должности электроника кафедры  
«Радиотехнических систем» ФГБОУ ВО «Ярославский государственный универ-  
ситет им. П.Г. Демидова».

Диссертация выполнена на кафедре «Радиотехнических систем» ФГБОУ ВО  
«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Казаков Леонид Николаевич, заведующий кафедрой «Радиотехнических систем» ФГБОУ ВО «Ярославский государственного университета им. П.Г. Демидова».

Официальные оппоненты:

1. Сизых Вадим Витальевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Специальное приборостроение и системы» института комплексной безопасности и специального приборостроения Московского технологического университета (МИРЭА);

2. Силантьев Александр Борисович, к.т.н., доцент, профессор кафедры «Командных пунктов зенитных ракетных систем» Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны (ЯВВУ ПВО), дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «Концерн «Созвездие», г. Воронеж, в своем положительном заключении, заслушанном и одобренном на заседании Научно-технического совета АО «Концерн «Созвездие», подписанном начальником научно-технического управления АО «Концерн «Созвездие», д.т.н. Тихомировым Николаем Михайловичем; ведущим научным сотрудником АО «Концерн «Созвездие», к.т.н. Романовым Станиславом Константиновичем, начальником сектора АО «Концерн «Созвездие», к.т.н. Гречишкиным Александром Владимировичем; утвержденном научным руководителем АО «Концерн «Созвездие», д.т.н., членом-корреспондентом РАН Борисовым Василием Ивановичем указала, что проведенные исследования являются новыми и актуальными, а степень их обоснованности и достоверности является достаточной. Диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует пунктам 8 и 9 паспорта специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения». Полученные автором диссертации результаты по разработке и оптимизации программно-аппаратного комплекса ре-

комендуются к использованию на предприятиях, занимающихся разработкой и производством высокоскоростных систем передачи информации.

Соискатель имеет 29 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 25 работ, из них в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК при Минобрнауки РФ – 6 работ, 1 патент на полезную модель, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объем – 7 печатных листов, авторский вклад составляет 80 процентов. При подготовке научных работ соискатель внес определяющий вклад в разработку и исследование эффективных подходов к построению широкополосных аппаратного имитатора многолучевого радиоканала с частотно-временным рассеянием. Разработка программного обеспечения, разработка методики исследования и верификации имитатора, его отладка и проведение экспериментов принадлежат лично соискателю.

#### **Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Казаков Л.Н., Соловьев Д.М. Оптимизация вычислительных ресурсов имитатора мобильного городского многолучевого радиоканала. // Электросвязь. 2016. № 4. С. 49-56.
2. Казаков Л.Н., Соловьев Д.М. Оптимизация вычислительных ресурсов имитатора широкополосного городского многолучевого радиоканала. // Электросвязь. 2015. № 5. С. 24-27.
3. Gerasimov A.B., Solovyev D.M. An efficient use of DAC dynamic range in frequency-selective channel simulator // T-Comm Телекоммуникации и транспорт ТОМ 9. №1-2015. С. 90-92.
4. Герасимов А.Б., Соловьев Д.М. Реализация на ПЛИС имитатора многолучевого канала высокоскоростной мобильной радиосвязи // Электросвязь. 2014. № 5. С. 34-39.
5. Герасимов А.Б., Казаков Л.Н., Кренев А.Н., Соловьев Д.М. Реализация на программируемой логической интегральной схеме имитатора городского многолучевого канала высокоскоростной мобильной радиосвязи // Вестник ЯЗРИ ПВО. 2014. №4. С. 76-86.

6. Туров В.Е., Герасимов А.Б., Кренев А.Н., Московский С.Б., Погребной Д.С., Соловьев Д.М. Алгоритм подавления многократных ответных импульсных помех обзорным радиолокационным станциям и его реализация в комплексе полунатурного моделирования // Вестник ВУНЦ ВВС «ВВА» (филиал г. Ярославль). 2012. №14. С. 50-55.

7. Герасимов А.Б., Кренев А.Н., Погребной Д.С., Соловьев Д.М., Селянская Е.А. Программно-аппаратный комплекс с нефиксированной конфигурацией для моделирования радиотехнических систем // Патент России № 128046. 2013. Бюл. № 13.

8. Соловьев Д.М. Программный файл «Цифровой когерентный модем фазоманипулированных сигналов». Свидетельство № 2012613902. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26.04.2012.

9. Соловьев Д.М. Программный файл «Цифровой имитатор многолучевого канала для высокоскоростных систем авиационной радиосвязи». Свидетельство № 2013615936. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 24.06.2013.

**На диссертацию поступили отзывы:**

1. От официального оппонента профессора кафедры «Специальное приборостроение и системы» института комплексной безопасности и специального приборостроения Московского технологического университета (МИРЭА) д.т.н., доцента Сизых Вадима Витальевича. Отзыв положительный и содержит следующие замечания: 1). При построении имитатора ничего не было сказано о моделировании помеховой обстановки. Остается неясным, можно ли с помощью предложенных автором решений проводить моделирование помеховой обстановки одновременно с частотно-временным рассеянием или для этого понадобится отдельное устройство; 2). Выбор рациональных параметров имитатора во второй главе диссертации проводился на основе имитационного моделирования прохождения через канал радиосигналов с DBPSK модуляцией. Насколько правомочно распространять этот результат на другие сигналы?; 3). Во второй главе следовало привести объемы выборок, используемых при обработке результатов моделирования, и построить доверительные интервалы; 4). В п. 3.3.3 диссертации сказано, что наиболее эффективным алгоритмом формирования псевдослучайных гаус-

совских случайных величин является преобразование Бокса-Мюллера. Вместе с тем следует отметить, что метод Бокса-Мюллера хотя и является популярным, однако, zigurat-алгоритм (зиккурат-алгоритм, алгоритм ступенчатой пирамидоидальной башни), предложенный George Marsaglia, считается более эффективным (George Marsaglia, Wai Wan Tsang. The Ziggurat Method for Generating Random Variables. Journal of Statistical Software, No. 5 (8), 2000).

2. От официального оппонента профессора кафедры командных пунктов зенитных ракетных систем, к.т.н., доцента Силантьева Александра Борисовича. Отзыв положительный и содержит следующие замечания: 1). В диссертации недостаточно обоснован выбор архитектуры и элементной базы имитатора (выбрана микросхема ПЛИС фирмы XILINX семейства VIRTEX6); 2). В работе оценивалось воспроизведение на макете имитатора лишь рэлеевских и райсовских замираний, воспроизведение более «глубоких» замираний, распределенных, например, по логнормальному закону и закону Накагами в работе не исследовано; 3). В работе не обоснованы требования к применяемому радиоизмерительному оборудованию (анализатору спектра, цифровому осциллографу, генератору сигналов); 4). Недостаточно высокое качество отдельных рисунков диссертации, например, рис. 1 на с. 18 и рис. 7 на с. 30.

3. От ведущей организации – Акционерного общества «Концерн «Созвездие». Отзыв положительный и содержит следующие замечания: 1). Применение предложенного автором критерия оптимизации приводит к увеличению вычислительных затрат по сравнению с известными подходами для случая радиоканала с коротким профилем задержки мощности. Хотелось бы получить более детальный ответ относительно преимуществ предлагаемого подхода применительно к данной ситуации; 2). В работе не рассматривается возможность реализации доплеровского фильтра нижних частот на основе фильтра с бесконечной импульсной характеристикой?; 3). На основе решения задачи верификации в работе показано, что разработанный имитатор соответствует исходным математическим моделям многолучевых радиоканалов. Практический интерес представляет верификация данного изделия на соответствие реальным радиоканалам.

**На автореферат поступили 10 положительных отзывов –** АО «ВНИИРТ»; ИТЦ КНП МГТУ им. Н.Э. Баумана; Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых; ОАО Радиотехнический институт им. академика А.Л. Минца; Череповецкое высшее военное инженерное училище радиотехники; ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»; ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»; ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»; Институт информационных технологий, математики и механики Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского; АО «КБ «Кунцево»;

**Замечания, полученные в отзывах на автореферат,** представлены в следующем обобщенном виде: 1). Для верификации возможности имитации условий динамического многолучевого радиоканала в режиме реального времени требуется дополнительно оценить новые возможности разработанного имитатора с точки зрения динамического диапазона и скорости изменения параметров имитатора. Данные вопросы могут быть существенными для систем мобильной радиосвязи с высокоскоростными объектами; 2). В автореферате в явном виде отсутствует сравнительный анализ разработанного имитатора с существующими отечественными и зарубежными аналогами. Данный вопрос требует более детальной проработки; 3). Из текста автореферата можно сделать вывод, что в работе рассматривались вопросы применения имитатора многолучевого радиоканала исключительно для проведения испытаний систем радиосвязи. Производилась ли оценка возможности применения разработанного экспериментального образца для испытаний других классов радиотехнических систем?; 4). В автореферате в полной мере не рассмотрены вопросы выбора элементной базы использованной для реализации имитатора. В частности, интерес представляет исследование по оценке влияния технических характеристик АЦП и ЦАП на качество моделирования распространения радиосигналов; 5). Из текста автореферата не

ясно, рассматривались ли вопросы, связанные с возможными нелинейностями элементов аналогового тракта имитатора (усилители, преобразователи частоты и пр.); 6). На рис. 5. Автореферата приведена графическая зависимость вероятности ошибки для доплеровских фильтров только одного порядка, а не для всех порядков, указанных автором на этом же рисунке; 7). На стр. 15 автореферата имеется некорректная ссылка на рис. 1, а необходимо на рис. 11; 8). Из автореферата неясно, каким образом осуществлялся расчет экономии вычислительных ресурсов; 9). В автореферате не рассмотрено влияние преднамеренных помех на канал связи; 10). Не ясно, чем обусловлен выбор элементной базы для реализации имитатора, в частности АЦП и ЦАП. Применение преобразователей с высокой частотой дискретизации приводит к дополнительному увеличению вычислительных затрат и сложности алгоритмов цифровой обработки; 11). Не ясно, существуют ли ограничения к применению разработанного имитатора к диагностике других классов радиотехнических систем; 12). В автореферате не приведены конкретные характеристики имитируемого многолучевого радиоканала (дальность, геометрия, параметры и траектория перемещения носителей радиосредств и др.); 13). В работе неоднократно отмечалось, что имитатор может обеспечить имитацию сигналов в режиме реального времени. Однако, что понимается под режимом реального времени, и для каких ситуаций это применимо, в автореферате не уточняется; 14). Инкогнито публиковать статьи в рецензируемых журналах недопустимо, а публикация в автореферате за № 6 из списка работ, опубликованных по теме диссертации, не имеет авторов; 15). Принцип построения аппаратного имитатора радиоканала нельзя выносить на защиту, так как аппаратные имитаторы, учитывающие характеристики канала и параметры систем передачи информации и работающие в режиме реального времени известны с 70-х годов прошлого века.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующими обстоятельствами:

1. Доктор технических наук, профессор Сизых В.В. является крупным специалистом в области анализа и синтеза систем обработки сигналов. В области научных интересов Сизых В.В., в частности, находятся вопросы исследования воздействия помех, в том числе обусловленных каналами распространения радиосигналов, на радиотехнические системы, которые лежат в основе диссертационного исследования Соловьева Д.М.

2. Кандидат технических наук, профессор Силантьев А.Б. является крупным специалистом в области анализа и синтеза алгоритмов работы перспективных радиолокационных станций. В сфере научных интересов Силантьева А.Б. также находятся вопросы оценки влияния среды распространения радиосигналов на эффективность работы радиотехнических систем, которые являются одним из важных аспектов диссертационного исследования Соловьева Д.М.

3. Акционерное общество «Концерн «Созвездие» известно разработкой и производством высокотехнологичных интеллектуальных систем управления и связи, радиоэлектронной борьбы и специальной техники, отвечающей потребностям Вооруженных Сил и других специальных формирований, современных систем и средств, а также гражданской и телекоммуникационной продукции на основе последних научно-технических достижений и инновационных технологий.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработан** принцип построения аппаратного имитатора радиоканала с частотно-временным рассеянием с режимом реального времени, в рамках которого информация о характеристиках испытываемой системы передачи информации используется для оптимизации вычислительной сложности алгоритмов формирования имитируемого сигнала во временной области при дискретизации импульсной характеристики и в частотной области при реализации доплеровского фильтра;

**предложен** критерий оптимизации имитатора, повышающий эффективность моделирования за счет достижения оптимального соотношения между точностью воспроизведения временных и частотных характеристик радиоканала и вычислительными затратами, применение данного критерия позволяет от 2 до 20 раз снизить вычислительные затраты по сравнению с существующими подходами;

**реализован** экспериментальный образец широкополосного аппаратного имитатора многолучевого радиоканала, позволяющий воспроизводить широкий спектр замираний от медленных до быстрых частотно-селективных, с числом лучей в



радиоканале, на порядок превышающим аналогичное значение существующих зарубежных аналогов;

**проведена** верификация экспериментального образца имитатора с применением прецизионного радиоизмерительного оборудования, которая позволила установить, что отклонения измеренных характеристик от номинальных не превышают 0,5 дБ и укладываются в погрешность проведения эксперимента.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: изложены** принципы построения эффективного широкополосного аппаратного цифрового имитатора многолучевого радиоканала с частотно-временным рассеянием, позволяющего в реальном времени выполнять исследования систем радиосвязи на различных этапах разработки аппаратуры; **раскрыты и изучены** вопросы, связанные с проблемой перехода от непрерывной модели профиля задержки мощности радиоканала к дискретной модели, решен актуальный вопрос, связанный с минимизацией ресурсоемкости перехода; **раскрыты и изучены** вопросы, связанные с проблемой выбора структуры и порядка доплеровского фильтра, отвечающего за имитацию частотного рассеяния радиоканала, обоснован диапазон порядка фильтра, ограниченный сверху требованиями к ресурсоемкости, снизу – допустимыми искажениями на уровне собственных шумов; **применительно к проблематике диссертации** результативно использован аппарат теории дискретных систем и теории статистической радиотехники для построения профилей задержки мощности и частотного рассеяния многолучевого радиоканала.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

- **предложены** структура широкополосного аппаратного имитатора с режимом реального времени и оптимизированные структуры базовых блоков, отвечающие за формирование профилей задержки мощности и частотного рассеяния, в том числе с угловым ограничением, позволяющие снизить ресурсоемкость аппаратной части не менее чем на 50% при сохранении необходимой точности формирования;

- **представлены рекомендации** для разработчиков высокоскоростных систем радиосвязи по повышению эффективности экспериментальных исследований радиоаппаратуры на различных этапах разработки за счет применения имитатора радиоканала, в том числе в комплекте с ГИС для условий динамически изменяющихся характеристик радиоканала;

- полученные в диссертации результаты **использованы в учебном процессе** и НИР кафедры РТС ЯрГУ им. П.Г. Демидова, а также **в разработках предприятий** ОАО «КБ «Кунцево» (г. Москва), ОАО «Луч» (г. Рыбинск), ОАО «НПО «ТРАНСКОМСОФТ» (г. Дубна), ОАО «НПП «РАДИОСИГНАЛ» (г. Москва). Полученные теоретические и практические результаты работы подтверждаются соответствующими актами.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты обоснованы** корректным использованием методов имитационного моделирования и верификацией реализованного экспериментального образца имитатора многолучевого радиоканалов, которая производилась с применением современного сертифицированного высокоточного радиоизмерительного оборудования в соответствии с разработанной методикой.

**Личный вклад соискателя состоит** в проведении теоретических исследований, разработке моделей для проведения имитационного моделирования, разработке программного обеспечения для экспериментального образца имитатора, разработка методики исследования и верификации экспериментального образца имитатора, проведение экспериментальных исследований, апробации результатов исследования на 17 научно-технических конференциях и семинарах, в том числе международных, в подготовке 25 публикаций по результатам диссертационного исследования.

На заседании 22 сентября 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Соловьеву Д.М. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения», участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета проголосовали: за присуждение ученой степени – 14, против – 1, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель  
диссертационного совета Д 219.001.04



Аджемов Артём Сергеевич

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 219.001.04

Терешонок Максим Валерьевич

« 22 » сентября 2016 г.