



МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,  
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики»

Льва Толстого ул., д. 23, г. Самара, 443010. Телефон: (846)333-58-56. E-mail: info@psuti.ru, www.psuti.ru  
ОКПО 01179900; ОГРН 1026301421992; ИНН/КПП 6317017702/631701001

№

На №

от

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по цифровому  
развитию, доктор физико-  
математических наук, доцент  
Осипов Олег Владимирович



2022 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» на диссертационную работу Бутрова Олега Владимировича «Цифровая линейаризация многоканальных систем связи», представленную к защите в диссертационном совете 24.2.288.05 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – радиофизика

**Актуальность темы диссертации**

Развитие современных систем беспроводной связи приводит к повышению требований к энергетической и спектральной эффективности передатчиков, наибольшее влияние на которые имеет усилитель мощности.

На сегодняшний день тема цифровой линейаризации усилителя мощности и снижения квадратурных искажений достаточно широко изучена для однополосных систем связи. Однако поднятый в работе Бугрова О.В. вопрос линейаризации передающего тракта многополосных систем связи является актуальным и требующим дополнительного излучения.

### **Общая характеристика работы**

Диссертация Бугрова О.В. выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет». Работа состоит из введения, в котором изложены цель исследования, научная новизна и практическая значимость, четырёх глав, заключения и списка литературы из 79 наименований. Общий объём диссертации составляет 127 страниц, включая 74 рисунка и 18 таблиц. В целом работа по содержанию, оформлению и объёму соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Основные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в 14 печатных работах, включая 1 статью в издании, индексируемом в Scopus, 3 статьи – в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертационных работ, 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

### **Научная новизна исследований и полученных результатов**

Наиболее значимыми результатами диссертационного исследования Бугрова О.В., обладающими научной новизной, являются следующие:

- предложены бесструктурные нейросетевые модели передающего тракта многоканальных систем, обладающего нелинейно-инерционными свойствами, позволяющие в сравнении с известными аналогами повысить качество поведенческого описания исследуемого устройства;

- разработан адаптивный алгоритм цифровой линейаризации передающего тракта на основе метода сопряженного градиента, позволивший значительно сократить количества вычислительных операций;

- разработана совместная адаптивная система управления цифровым корректором для одновременной компенсации квадратурных и нелинейно-инерционных искажений в передающем радиотракте на основе двумерной полиномиальной модели «с памятью» и метода сопряженного градиента.

### **Достоверность и обоснованность результатов работы**

Обоснованность научных положений и выводов диссертации основывается на корректном применении методов цифровой обработки сигналов и адаптивных методов многопараметрической оптимизации, доказанных ранее и проверенных практикой, а также на строгости принятых допущений и ограничений.

Достоверность полученных результатов и выводов диссертации, степень адекватности предложенных методов и алгоритмов подтверждается физической аргументированностью и математической корректностью постановки исследуемых вопросов, проведенными экспериментальными исследованиями и компьютерным моделированием, а также получением работоспособных алгоритмов.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Теоретическая значимость полученных автором результатов состоит в том, что предложенные нейросетевые модели передающего тракта позволяют расширить возможности поведенческого описания передающего тракта многоканальных систем.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что предложенный в работе алгоритм адаптивного обновления параметров корректора многоканальной системы позволяет кратно снизить количество вычислительных операций при сохранении необходимого уровня линеаризации. Также, предложенная структура корректора позволяет одновременно компенсировать нелинейно-инерционные и квадратурные искажения, возникающие в тракте.

## **Замечания по работе**

В качестве замечаний, относящихся к существу отдельных положений работы и форме их представления, можно отметить следующее:

1. Автором предложены две нейросетевые архитектуры: многослойный персептрон и рекуррентная сеть, предположительно отражающие своей структурой физические процессы, протекающие в передающем тракте. Но отсутствует сравнение представленных архитектур с другими существующими, а также исследование модификаций сетей, например, с другим количеством слоев, нейронов в слоях и с другими функциями активации.

2. В работе сравниваются полиномиальная и нейросетевые модели передающего тракта. Полиномиальная модель демонстрирует меньшую точность поведенческого описания, но и количество коэффициентов, требуемых для ее идентификации значительно меньше. В работе не исследуется вопрос повышения количества коэффициентов полиномиальной модели для повышения точности моделирования.

3. В диссертации не представлено обоснование выбора параметров квадратурного дисбаланса.

4. В описании экспериментов диссертации отсутствует информация о проверочной выборке, её длине и отличиях от обучающей.

Указанные недостатки не снижают положительной оценки диссертации Бугрова О.В. в целом.

## **Заключение**

Оценивая диссертацию и автореферат Бугрова О.В. в целом, их можно классифицировать как законченную научно-квалификационную работу, содержащую ряд новых положений, связанных с решением задачи повышения спектральной эффективности систем радиосвязи при наличии внутрисистемных помех в передающем тракте за счёт совершенствования методов цифровой обработки сигнала, выполненную автором на должном уровне.

Диссертация Бугрова О.В. «Цифровая линейаризация многоканальных систем связи» удовлетворяет требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842 (в актуальной редакции), её содержание соответствует паспорту специальности 1.3.4 – «Радиофизика», а Бугров Олег Владимирович присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – «Радиофизика».

Отзыв обсуждён и принят на заседании кафедры радиоэлектронных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», протокол № 10 от 27.04.2022 г.

На заседании присутствовало 23 сотрудника кафедры, из них 8 докторов наук. Результаты голосования «за» - 23, «против» - нет, «воздержались» - нет.


Заместитель заведующего кафедрой радиоэлектронных систем (РЭС) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ПГУТИ), кандидат физико-математических наук,

 Вороной Андрей Андреевич

Профессор кафедры РЭС ПГУТИ, доктор физико-математических наук,

 Табаков Дмитрий Петрович

Секретарь кафедры РЭС ПГУТИ, кандидат технических наук, доцент

 Ситникова Светлана Васильевна

*Осипов Олег Владимирович*, доктор физико-математических наук (научная специальность: 01.04.03 – Радиофизика), доцент, проректор по цифровому развитию Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
Служебный адрес: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, д. 23  
Тел. раб.: (846) 332-21-61  
E-mail: o.osipov@psuti.ru

*Вороной Андрей Андреевич*, кандидат физико-математических наук (научная специальность: 01.04.03 – Радиофизика), доцент, заместитель заведующего кафедрой радиоэлектронных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Служебный адрес: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, д. 23  
Телефон: 8 (846) 332-58-53  
E-mail: arminvanburn@yandex.ru

*Табачков Дмитрий Петрович*, доктор физико-математических наук (научная специальность: 01.04.03 – Радиофизика), профессор кафедры радиоэлектронных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Служебный адрес: 443010 г. Самара, ул. Льва Толстого д. 23  
Телефон: 8 (846) 332-58-53  
E-mail: illuminator84@yandex.ru

*Ситникова Светлана Васильевна*, кандидат технических наук (научная специальность: 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»), секретарь кафедры радиоэлектронных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Служебный адрес: 443010 г. Самара, ул. Льва Толстого д. 23  
Телефон: 8 (846) 332-58-53  
E-mail: sitnikovasv@mail.ru