

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 55.2.002.01
НА БАЗЕ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И
ИНФОРМАТИКИ» (подведомственного Министерству цифрового
развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело N _____

Решение диссертационного совета от 24.04.2024 г. N 121 о присуждении гражданину(ке) **Кандауровой Екатерине Олеговне** ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка метода интеллектуальной перестройки рабочих частот в системах когнитивного радио» по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите «13» февраля 2024 г., протокол №115 диссертационным советом 55.2.002.01 на базе ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (далее МТУСИ), Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8а, Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 244/нк от 03 марта 2016 г., изменения в составе утверждены Приказами Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 37/нк от 30.01.2019, № 599/нк от 15.10.2020, №804/нк от 16.12.2020 г., № 331/нк от 12.04.2021г., № 679/нк от 24.06.2022г., № 1215/нк от 12.10.2022г.

Соискатель Кандаурова Екатерина Олеговна «14» января 1996 года рождения, в 2023 году окончил аспирантуру МТУСИ по направлению «Электроника, радиотехника и системы связи». Кандидатские экзамены сданы в 2020 году (имеется справка о сдаче экзаменов). Работает научным

сотрудником в научно-исследовательском отделе 48 научно-исследовательской части МТУСИ.

Диссертация выполнена на кафедре «Радиотехнические системы» МТУСИ.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Чиров Денис Сергеевич, заведующий кафедрой «Радиотехнические системы» МТУСИ.

Официальные оппоненты:

1. Гребешков Александр Юрьевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры сетей и систем связи Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ФГБОУ ВО ПГУТИ);

2. Тоискин Василий Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы боевого управления» Филиала федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации в г. Серпухове

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина" (далее ФГБОУ ВО "РГРТУ"), г. Рязань в своем положительном заключении, подписанном Витязевым Владимиром Викторовичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой телекоммуникаций и основ радиотехники, указала, что диссертация имеет значение для решения задачи обеспечения эффективного использования радиочастотного ресурса при развитие современных систем связи. Соискатель имеет по теме диссертации 9 работ, из них 2 - работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, 7 работ, индексируемых в международной базе SCOPUS, а также получил 8 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Основные публикации:

1. **Кандаурова, Е.О.** Разработка программного комплекса интеллектуальной перестройки рабочих частот для систем когнитивного радио / **Кандаурова Е.О.,** Чиров Д.С. // Электросвязь. – 2021. – № 2. – С43-47. – doi: 10.34832/ELSV.2021.15.2.006. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 90%)
2. **Кандаурова, Е.О.** Адаптивный алгоритм обнаружения радиосигналов в системах когнитивного радио / **Кандаурова Е.О.,** Чиров Д.С., Базылев М.В. // Электросвязь. – 2022. – № 10. – С44-51. – doi: 10.34832/ELSV2022.35.10.007. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 85%)
3. **Kandaurova, E.O.** Algorithm and Software for Intelligent Analysis of the Frequency Spectrum for Cognitive Radio Systems / **Kandaurova E.O.,** Chirov D.S. // 2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2020. – 6 p. – doi: 10.1109/SYNCHROINFO49631.2020.9166031. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 90%)
4. **Kandaurova, E.O.** Implementation of an algorithm for intelligent tuning of operating frequencies for cognitive radio systems / **Kandaurova E.O.,** Chirov D.S. // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board. – 2021. – 5 p. – doi: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9415988. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 90%)
5. **Kandaurova, E.O.** Intelligent Algorithms for Dynamic Spectrum Access a Secondary User in Cognitive Radio Systems / **Kandaurova E.O.,** Chirov D.S. // 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2021. – 5 p. – doi: 0.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488377. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 90%)
6. **Kandaurova, E.O.** Adaptive spectrum monitoring algorithm for cognitive radio systems / **Kandaurova E.O.,** Chirov D.S. // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – 2022. – 5 p. – doi:

- 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744283. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 90%)
7. **Kandaurova, E.O.** Estimating the Efficiency of the Algorithm for Selecting the Adaptive Signal Detection Threshold in Cognitive Radio Systems / **Kandaurova E.O.**, Chirov D.S., Kuchumov A.A. // 2022 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2022. – 5 p. – doi: 10.1109/SYNCHROINFO55067.2022.9840968. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 85%)
8. **Kandaurova, E.O.** Spectrum Occupancy Prediction Algorithm Using Artificial Neural Networks / **Kandaurova E.O.**, Chirov D.S. // 2023 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – 2023. – 5 p. – doi: 10.1109/IEEECONF56737.2023.10092167. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 90%)
9. **Kandaurova, E.O.** Neural Network Algorithm for Predicting Spectrum Occupancy in Cognitive Radio Systems / **Kandaurova E.O.**, Chirov D.S. // 2023 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2023. – 5 p. – doi: 10.1109/SYNCHROINFO57872.2023.10178650. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 90%)
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020618018 Российская Федерация. Обработка данных радиомониторинга / **Е.О. Кандаурова**, В.И. Липаткин, Д.С. Чиров, А.Н. Виноградов; заявитель и правообладатель МГУСИ. – № 2020616823; заявл. 30.06.2020; опублик. 15.07.2020. – 1 с. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 70%)
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660573 Российская Федерация. Программа интеллектуальной перестройки рабочих частот для систем когнитивного радио / **Е.О. Кандаурова**, А.В. Николаев, Д.С. Чиров ; заявитель и правообладатель МГУСИ. – № 2021619771; заявл. 23.06.2021; опублик. 29.06.2021. – 1 с. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 90%)

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021663369 Российская Федерация. Программа формирования базы данных состояния занятости спектра с использованием SDR Adalm-Pluto / **Е.О. Кандаурова**, Н.А. Кандауров, Д.С. Чиров ; заявитель и правообладатель МТУСИ. – № 2021619773; заявл. 23.06.2021; опубл. 16.08.2021. – 1 с. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 85%)
13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611290 Российская Федерация. Программа формирования базы данных состояния занятости спектра с использованием адаптивного порога обнаружения / **Е.О. Кандаурова**, Н.А. Кандауров, Д.С. Чиров ; заявитель и правообладатель МТУСИ. – № 2022686707; заявл. 30.12.2022; опубл. 18.01.2023. – 1 с. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 90%)
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660574 Российская Федерация. Программа формирования цифровых отсчетов адаптивного OFDM сигнала / **Е.О. Кандаурова**, Д.С. Чиров, О.В. Ильина ; заявитель и правообладатель МТУСИ. – № 2021619772; заявл. 23.06.2021; опубл. 29.06.2021. – 1 с. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 70%)
15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660809 Российская Федерация. Программа обработки цифровых отсчетов адаптивного OFDM сигнала / **Е.О. Кандаурова**, Д.С. Чиров, О.В. Ильина ; заявитель и правообладатель МТУСИ. – № 202161977; заявл. 23.06.2021; опубл. 01.07.2021. – 1 с. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 70%)
16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021663544 Российская Федерация. Программа управления и передачи данных с помощью SDR устройств и библиотеки SoapySDR / **Е.О. Кандаурова**, Н.Ю. Либеровский, Н.Е. Мирошникова ; заявитель и правообладатель МТУСИ. – № 2021662565; заявл. 09.08.2021; опубл. 18.08.2021. – 1 с. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 70%)

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021663566 Российская Федерация. Программа управления и приема данных с помощью SDR устройств и библиотеки SoapySDR / **Е.О. Кандаурова**, Н.Ю. Либеровский, Н.Е. Мирошникова ; заявитель и правообладатель МТУСИ. – № 2021662607; заявл. 09.08.2021; опубл. 18.08.2021. – 1 с. (Личный вклад Кандауровой Е.О. – 70%)

Недостовверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, отсутствуют.

На диссертацию и автореферат поступило 10 положительных отзывов от СПбГУТ, МГТУ ГА, ПГУТИ, АО «КОНЦЕРН ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ», ФГБУ НИИР, АО «НПО дальней радиолокации», ФГБНУ «Аналитический центр», АО «ОКБ МЭИ», ООО «Цифровая независимость», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет».

Были отмечены следующие недостатки:

1. Из автореферата осталось неясным, насколько длительность обучения в тысячи секунд, указанная в таблице 2, позволит реализовать концепцию когнитивного радио для подвижных устройств.
2. Из автореферата остались не до конца понятными условиями эксперимента, в частности, не указано, на какой аппаратной платформе проводились эксперименты (разрядность АЦП, интерфейс ПК, ширина полосы частот и рабочий диапазон SDR модуля), отсутствует схема эксперимента, сценарий географической протяженности, для которого получен график на рис. 8.
3. Автор проводит сравнение разработанного нейросетевого алгоритма прогнозирования занятости спектра с другими нейронными сетями. Однако, для задач прогнозирования используется большое количество других методов машинного обучения (регрессия, деревья решения и т.д.). В автореферате отсутствуют численные оценки сравнения разработанного алгоритма с этими методами.
4. В автореферате диссертации автор в содержании раздела 2 не приводит подробное описание алгоритмов предоставления

частотного канала вторичному пользователю в системах когнитивного радио.

5. В автореферате отсутствуют рекомендации по аппаратной реализации разработанных алгоритмов.
6. В автореферате в разделе 3 отсутствуют результаты оценки точности прогнозирования моделей искусственных нейронных сетей на 10с вперед.
7. В автореферате не представлены рекомендации по аппаратной реализации разработанных алгоритмов.
8. Разработанный алгоритм мониторинга спектра, использующий энергетический обнаружитель с адаптивным выбором порога обнаружения, обеспечивает снижение вероятности пропуска сигнала ПП. Но при этом он более сложен в вычислительном отношении, поэтому целесообразно провести оценку увеличения общего времени мониторинга спектра при его реализации.
9. Нечётко сформулированы рекомендации по практической реализации (пункт 3.4 диссертационной работы).
10. В работе имеются терминологические неточности, так формулировка названия работы и решаемой научной задачи содержит термин «метод», вместе с тем на защиту автор выносит три разработанных алгоритма.
11. В автореферате отсутствуют выражения для расчета метрик оценки точности прогнозирования моделей искусственных нейронных сетей.
12. В тексте автореферата имеются опечатки. Подписи на некоторых рисунках слишком маленького размера.
13. В автореферате недостаточно полно раскрыты параметры проведения натурального эксперимента с использованием SDR устройств для проверки работоспособности разработанных алгоритмов.
14. В автореферате отсутствует объяснение выбора значения ложной тревоги 10^{-2} при проведении моделирования.

15.В автореферате отсутствует представление разработанного вычислительно эффективного алгоритма предоставления частотного ресурса вторичному пользователю в виде блок-схемы, что позволило бы лучше оценить его эффективность.

16.В разделе 3 автореферата отсутствуют результаты исследования производительности нейронной сети в зависимости от числа скрытых нейронов в слоях LSTM.

17.В автореферате не приведены результаты оценки точности прогнозирования нейронной сети в зависимости от типа архитектуры модели.

18.В автореферате не приведены расшифровки некоторых сокращений, например, MSE,

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты и представители ведущей организации имеют значительное количество публикаций, близких к теме диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– показано, что разработанный алгоритм оценки состояния занятости спектра позволяет снизить вероятность создания вторичным пользователем помех для первичного пользователя на 4–11% при заданной вероятности ложной тревоги 10^{-2} по сравнению с известным алгоритмом оценки на основе энергетического обнаружителя;

– показано, что разработанный алгоритм предоставления частотного ресурса вторичному пользователю, в отличие от алгоритма без учета разреженности исследуемых данных, обеспечивает выигрыш по количеству вычислительных операций до 46 раз и выигрыш по среднему времени выполнения до 60 раз, что позволяет уменьшить время, необходимое для предоставления доступа вторичному пользователю к частотному ресурсу;

– показано, что разработанный алгоритм прогнозирования состояния спектра с использованием рекуррентной искусственной нейронной сети позволяет снизить среднюю абсолютную ошибку прогнозирования на 9% и обладает меньшим временем обучения нейронной сети (на 5–26%) при

прогнозировании на 100 шагов вперед по сравнению с нерекуррентными искусственными нейронными сетями прогнозирования временных рядов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработан новый метод интеллектуальной перестройки рабочих частот вторичных пользователей в системах когнитивного радио с использованием искусственных нейронных сетей и технологий Big data для снижения вероятности создания устройством вторичного пользователя помех для первичного пользователя и снижения времени, необходимого для предоставления доступа вторичному пользователю к свободному радиоканалу, тем самым увеличив эффективность использования радиочастотного спектра.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанные Кандауровой Е.О. алгоритмы, апробированные на натуральных экспериментах с использованием реальных SDR устройств, возможно использовать в устройствах систем когнитивного радио.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается корректностью применения математических методов и соответствием результатов, полученных путем аналитических расчетов, численного моделирования и натурального эксперимента.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном получении соискателем научных результатов. Автор принимал непосредственное участие в планировании и проведении работы, обработке и обсуждении полученных результатов, подготовке публикаций.

Диссертация Кандауровой Екатерины Олеговны является научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной задачи – разработка метода и алгоритмов интеллектуальной перестройки рабочих частот в системах когнитивного радио, позволяющих сократить вычислительные затраты и повысить оперативность предоставления вторичным пользователям доступа к радиочастотному спектру при заданной вероятности постановки помех первичному пользователю.

По новизне, уровню научной проработки и практической значимости полученных результатов работа отвечает требованиям п.9 и п.10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением

Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842, а ее автор Кандаурова Екатерина Олеговна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

На заседании «24» апреля 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Кандауровой Екатерине Олеговне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 14, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель

диссертационного совета



А.С. Аджемов

Ученый секретарь

диссертационного совета

М.В. Терешонок

Заключение совета составлено «24» апреля 2024 г.