

**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» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело N _____

Решение диссертационного совета от 31.01.2024 г. N 113 о присуждении Степановой Анастасии Георгиевне ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование и разработка итерационных алгоритмов демодуляции в системах беспроводной связи, использующих технологию ММО с большим числом антенн» по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите «21» ноября 2023г., протокол №109 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 03.03.2016, 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, № 331/нк от 12.04.2021, № 679/нк от 24.06.2022, № 1215/нк от 12.10.2022.

Соискатель Степанова Анастасия Георгиевна 21 января 1977 года рождения, в 1999 году окончила МТУСИ по специальности «Прикладная

математика». Кандидатские экзамены сданы в 2023 году (имеется справка о сдаче экзаменов). Работает старшим преподавателем кафедры Теории электрических цепей.

Диссертация выполнена на кафедре «Системы и сети радиосвязи и телерадиовещания» (СиСРТ) МТУСИ.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Системы и сети радиосвязи и телерадиовещания» Панкратов Денис Юрьевич.

Официальные оппоненты:

1) Хоров Евгений Михайлович – доктор технических наук, руководитель лаборатории беспроводных сетей Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем передачи информации имени А.А. Харкевича Российской академии наук;

2) Евсеев Виктор Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник 23 отдела научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией ВВС) Федерального государственного казённого военного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем передачи информации имени А. А. Харкевича Российской академии наук (далее ИППИ РАН), г. Москва – в своем положительном заключении, подписанном Андреем Игоревичем Ляховым д.т.н., профессором, заведующим лабораторией № 18, утвержденном Максимом Валериевичем Федоровым, членом-корреспондентом РАН, и.о. директора ИППИ РАН, указала, что диссертация Степановой А.Г. является законченной научной квалификационной работой, выполненной на актуальную тему. По новизне, уровню научной проработки

и практической значимости полученных результатов работа отвечает требованиям п. 9 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор, Степанова Анастасия Георгиевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности для 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Соискатель имеет по теме диссертации 4 публикации в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень ВАК, 9 статей в изданиях, включенных в базы Scopus и WoS, и 12 прочих работ. Также результаты прошли апробацию и были доложены на международных и всероссийских конференциях.

Основные публикации:

1. Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г. Компьютерное моделирование технологии ММО для систем радиосвязи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 12.- С. 33-37. (Личный вклад Степановой А.Г. – 50%)
2. Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю. Степанова А.Г., Новый подход к задачам ММО-детектирования и многопользовательской демодуляции// Информационные процессы. 2021. Т. 21. № 2. - С. 93-107. (Личный вклад Степановой А.Г. – 25%)
3. Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г. Итерационный метод демодуляции massive ММО при негауссовской аппроксимации// Информационные процессы. 2021. Т. 21. № 3. -С. 137-148. (Личный вклад Степановой А.Г. – 25%)
4. Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г. Анализ эффективности и сложности демодуляции с использованием негауссовской аппроксимации в системах massive ММО // Информационные процессы. 2022. Т. 22. № 2.- С. 77-92. (Личный вклад Степановой А.Г. – 25%)

5. D. Pankratov, A. Stepanova "Linear and Nonlinear Chebyshev Iterative Demodulation Algorithms for MIMO Systems with Large Number of Antennas", 2019, 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Moscow, Russia, 2019, pp. 307-312. (Личный вклад Степановой А.Г. – 50%)
6. Kreindelin V.B., Pankratov D.Y., Stepanova A.G. Analysis of Iterative Demodulation Algorithm for MIMO System with Different Number of Antennas, 2018, Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF-2018, pp.1-4, 2018. (Личный вклад Степановой А.Г. – 33%)
7. D.Y. Pankratov, A.G. Stepanova, "Nonlinear Iterative Chebyshev Based Demodulation Algorithm With Eigenvalues Estimates Of The Channel Matrix For Massive MIMO Systems", Systems of Signal Synchronization Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO) 2020, pp. 1-5, 2020. (Личный вклад Степановой А.Г. – 50%)
8. Kreyndelin V.B., Pankratov D.Yu., Stepanova A.G. Chebyshev type nonlinear iterative demodulation algorithm for MIMO systems with large number of antennas, Telecommunications and Radio Engineering, 2020. № 79(13), pp. 1109-1119. (Личный вклад Степановой А.Г. – 33%)
9. M.G. Bakulin, V.B. Kreindelin, D.Y. Pankratov and A.G. Stepanova "Applying a New Approximation to Demodulation in Massive MIMO Systems," 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russia, 2021, pp. 1-6. (Личный вклад Степановой А.Г. – 25%)
10. Bakulin M.G., Kreindelin V.B., Pankratov D.Y., Stepanova A.G. Modified Newton's method in massive MIMO demodulation with Non-Gaussian approximation, 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, 2022. (Личный вклад Степановой А.Г. – 25%)

11. Bakulin M.G., Kreindelin V.B., Pankratov D.Y., Stepanova A.G. A new approach to problems of MIMO detection and multiuser demodulation, *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2021. Vol. 66. № 12, pp. 1460-1469. (Личный вклад Степановой А.Г. – 25%)
12. Bakulin M.G., Kreindelin V.B., Pankratov D.Y., Stepanova A.G. Iterative massive MIMO demodulation method with Non-Gaussian approximation, *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2022. Vol. 67. № 6, pp. 740-746. (Личный вклад Степановой А.Г. – 25%)
13. Bakulin M.G., Kreindelin V.B., Pankratov D.Y., Stepanova A.G. Analysis of Demodulation Efficiency and Complexity Using Non-Gaussian Approximation in Massive MIMO Systems, *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2022, 67(12), pp. 1542–1551. (Личный вклад Степановой А.Г. – 25%)
14. Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г. Моделирование систем ММО// *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. 2017, Т.17. № 4. - С.1052-1056. (Личный вклад Степановой А.Г. – 50%)
15. Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г. Компьютерное моделирование технологии ММО для систем радиосвязи. В сб.: *Технологии информационного общества. Материалы XII Международной отраслевой научно-технической конференции*. 2018- С.191-194. (Личный вклад Степановой А.Г. – 50%)
16. Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г. Помехоустойчивость систем ММО в условиях неточной матрицы канала на приемной стороне. 1-я Всероссийская конференция «Современные технологии обработки сигналов». - М. Россия, доклады конференции.- С. 42-46. (Личный вклад Степановой А.Г. – 33%)
17. Степанова А.Г. Применение метода Чебышева для демодуляции в системах ММО. Труды международной научно-технической конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы –

- 2018». – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. -С. 255-259. (Личный вклад Степановой А.Г. – 100%)
- 18.Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г. Алгоритм демодуляции на основе метода Чебышева для систем ММО // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2018. Т.18. № 4. - С.1057-1061. (Личный вклад Степановой А.Г. – 50%)
- 19.Степанова А.Г. Нелинейный демодулятор Чебышева для систем ММО. В сб.: Технологии информационного общества // Материалы XIII Международной отраслевой научно-технической конференции. 2019. - С. 224-226. (Личный вклад Степановой А.Г. – 100%)
- 20.Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г. Нелинейный итерационный демодулятор систем ММО для различных видов модуляции. В сб.: Современные технологии обработки сигналов. 2-я Всероссийская конференция: доклады конференции. 2019.- С. 82-86. (Личный вклад Степановой А.Г. – 50%)
- 21.D.Y. Pankratov, A.G. Stepanova. Linear iterative demodulation algorithm for ММО systems with large number of antennas. В сб.: Proceedings of the International Conference Technology & Entrepreneurship in Digital Society (TEDS). Proceedings of the International Conference, 2019, pp. 61-64. (Личный вклад Степановой А.Г. – 50%)
- 22.Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г. Вычислительная сложность алгоритмов демодуляции систем ММО с большим числом антенн DSPA // Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2021, Т. 11. № 1. - С. 11-20. (Личный вклад Степановой А.Г. – 50%)
- 23.Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г. Нелинейный итерационный демодулятор систем ММО с большим числом антенн для различных видов модуляции. В сб.: Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий - РЭУС-2020. М. 2020.- С. 26-30. (Личный вклад Степановой А.Г. – 33%)

24. Комаров М.И., Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г., Чуманов А.Е. Помехоустойчивость и вычислительная сложность алгоритмов демодуляции для систем ММО с разным числом антенн. DSPA // Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2022. Т. 12. № 1.- С. 39-47. (Личный вклад Степановой А.Г. – 25%)
25. Бакулин М.Г., Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г. Моделирование системы радиосвязи с разным числом передающих антенн: Учебное пособие для студентов по направлениям подготовки 11.03.02 и 11.04.02, ЭБС/МТУСИ. М., 2022.- 52с. (Личный вклад Степановой А.Г. – 33%)

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

На диссертацию и автореферат поступило 13 положительных отзывов от ведущей организации ИППИ РАН, официального оппонента Хорова Е.М., официального оппонента Евсеева В.В., Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ), Академии гражданской защиты МЧС России, ФГБОУ ВО "Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики", ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», ФГУП «Научно-исследовательский институт радио», Федерального государственного казённого военного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина».

Были отмечены следующие недостатки:

1. В работе не рассмотрены перспективы реализации разработанных алгоритмов с помощью аппаратных средств.

2. В работе при постановке задачи исследования недостаточно подробно объясняется, системе какого стандарта и в каком режиме соответствует выбранная математическая модель системы ММО
3. При использовании выбранной модели при проведении исследования не учитывалось влияние ошибок оценки матрицы канала и пространственной корреляции, а также влияние мощности.
4. В диссертации недостаточно подробно отражены недавние работы по теме диссертации. В полученных результатах исследования разделов 2 и 3 отсутствуют сравнения с другими квазиоптимальными алгоритмами демодуляции (кроме алгоритма K-Best и линейного метода Чебышева), также при оценке вычислительной сложности в 4 разделе рассмотрена лишь часть из них.
5. Значения параметров технологий беспроводной связи, приведенные в разделе 1.2 требуют незначительных уточнений.
6. Схемы на рис. 1.3 и 1.4 подразумевают, число антенн на базовой станции не меньше, чем суммарное число антенн на абонентских устройствах. Насколько результаты диссертации применимы, если указанное условие не выполняется?
7. При проведении моделирования не учитывалось влияние ошибок оценки матрицы канала и пространственной корреляции, а также влияние мощности. Также не учитывалось влияние алгоритмов регулировки мощности сигналов абонентских станций и прекодирования на демодуляцию на стороне базовой станции.
8. К работе имеются множественные замечания редакторского характера (например, описки).
9. В работе отсутствует анализ сигнально-помеховой обстановки при функционировании систем беспроводной связи с технологией ММО, а также обоснование требований по помехоустойчивости, которые должны предъявляться к этим системам. Эти положения

составляют доказательную базу для обоснования необходимости достижения цели работы: разработки алгоритмов демодуляции, обладающих лучшими показателями помехоустойчивости по сравнению с известными алгоритмами MMSE с аналогичным порядком вычислительной сложности.

10. В работе отсутствует обоснование выбора модели Релея для статистического представления замираний в канале. На сегодняшний день известен ряд других вероятностных моделей, обладающих более широкими возможностями по описанию замираний сигнала в каналах систем беспроводной (подвижной связи), особенно с учетом сложных условий распространения (многочисленных переотражений), например, модели Райса, Накагами, логарифмическое нормальное распределение, гамма-распределение и др. Также отсутствует обоснование выбора гауссовской модели для представления аддитивных помех. При действии в системах беспроводной связи внешних помех, например, по соседнему каналу, использование такой модели не всегда правомерно.

11. В тексте диссертации (стр. 131) с ссылкой на рисунок 4.2 представлено утверждение, что алгоритмы ZF, MMSE, линейного и нелинейного метода Чебышева, а также модифицированного метода Ньютона, имеют примерно одинаковый порядок сложности, а вот алгоритмы с перебором (K-best, ML) существенно сложнее. Алгоритм максимального правдоподобия (ML) имеет экспоненциальную сложность, хотя на рисунке 4.2, отражающем графики зависимости числа операций от числа антенн для вышеуказанных алгоритмов, вид данной зависимости для алгоритма ML линейный, а не экспоненциальный.

12. Из текста диссертации не ясно, как вид нелинейной функции нелинейного алгоритма демодуляции зависит от вида модуляции.

13. В работе имеется достаточно большое количество стилистических погрешностей, орфографических, пунктуационных ошибок и опечаток. В частности, в первой строке под рисунком 1.1 на стр. 18 содержится орфографическая ошибка, в таблице 1.2 на стр. 23 в среднем столбце последней строки содержится опечатка, в восьмой строке на стр. 45, в первой строке на стр. 49 содержатся орфографические ошибки, в последней строке на стр. 72, в четвертой строке на стр. 79 содержатся пунктуационные ошибки, в седьмой строке на стр. 83 содержится смысловая ошибка (пропущено слово), в четвертой строке на стр. 101 содержится смысловая ошибка в построении предложений, в формуле (2.4) содержится опечатка.
14. При постановке задачи исследования недостаточно подробно объясняется, системе какого стандарта и в каком режиме соответствует выбранная математическая модель (1) системы ММО
15. В разделе 4 недостаточно рассмотрен вопрос реализации теоретических предложений автора на отечественных ПЛИС.
16. Недостаточно проработан вопрос влияния скорости кодирования на результаты помехоустойчивости предложенных автором алгоритмов в разделах 2 и 3
17. В автореферате недостаточно полно дается описание того, какому режиму соответствует математическая модель (1) системы ММО при постановке задачи исследования, а также недостаточно подробно объясняется вид используемых сигналов.
18. Оценка возможности реализации разработанных алгоритмов произведена только для одного вида интегральных схем
19. В автореферате неполно обозначена роль и место предложенных алгоритмов в реальных системах связи

20. В автореферате отсутствует согласование предложенной негауссовской аппроксимации с истинным распределением. Нет описания того, как оценивалось согласование.
21. В автореферате отсутствует формула для нелинейной функции, используемой в предложенном нелинейном алгоритме типа Чебышева ChebNL (формула 5) для QAM16
22. Как недостаток отмечаю, что в работе не нашли свое отражение результаты влияния скорости кодирования на характеристики помехоустойчивости предложенных алгоритмов из разделов 2 и 3
23. Из автореферата не ясно, при каких условиях проводилось моделирование, нет описания матрицы канала, для какого сценария получены результаты помехоустойчивости алгоритмов демодуляции
24. Не достаточно подробно даны пояснения к рисункам 4,13,14 на плоскости «эффективность-сложность»
25. Из автореферата не ясно какой сценарий использовался при моделировании, - матрица канала является точно известной или оценивается?
26. В заключении диссертационной работы мало внимания уделено рекомендациям и указаниям перспектив дальнейшей разработки темы исследования.
27. Судя по автореферату при постановке задачи исследования не поясняется системе какого стандарта соответствует выбранная математическая модель системы MIMO
28. Из автореферата не ясно, каким образом формировалась плоскость «эффективность-сложность» на рисунках 4,13,14
29. Из текста автореферата не ясно относительно какого значения ведется расчет выигрыша помехоустойчивости на рисунке 4, поскольку приводятся несколько кривых алгоритма K-best при разных порядках модуляции и только одна точка алгоритма MMSE.

30. В автореферате отсутствуют комментарии к условиям моделирования при получении характеристик помехоустойчивости.
31. В автореферате не достаточно подробно пояснено, зачем предлагается два направления демодуляции.
32. Не указано, для каких физических условий канала связи произведено компьютерное моделирование.
33. Из автореферата можно сделать вывод, что в диссертации недостаточно раскрыта возможность использования предложенных алгоритмов в других условиях, отличных от пространственного мультиплексирования, например в режиме направленной передачи (Beamforming).
34. В представлении личного вклада автора нет смысла указывать об обобщении полученных результатов и формулировке выводов.
35. Из содержания автореферата не ясно, какие значения могут принимать параметры аппроксимирующего распределения (16).
36. В содержании автореферата не затронут вопрос, как скорость передачи информации влияет на показатели помехоустойчивости предлагаемых алгоритмов.
37. Исследования проводятся только для гауссовской канальной матрицы с независимыми элементами, что ограничивает область применения полученных результатов.
38. При анализе не учтены ошибки канальной матрицы, которые неизбежно появляются на практике и по-разному влияют на эффективность различных алгоритмов.
39. В автореферате не указан вид пространственного кодирования. Поэтому целесообразно было бы сравнить эффективность алгоритмов типа BLAST.

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:

– предложен новый нелинейный итерационный алгоритм типа Чебышева, позволяющий получить выигрыш в помехоустойчивости порядка 2,3 дБ на уровне $FER = 0,01$ по сравнению с алгоритмом MMSE при том же порядке сложности в системе MIMO с конфигурацией 64×64 и модуляцией 16QAM;

– доказано, что использование новой негауссовской аппроксимации априорного распределения в системах Massive MIMO с высоким порядком модуляции позволяет синтезировать алгоритмы демодуляции, обеспечивающие выигрыш в помехоустойчивости порядка 1-6 дБ по сравнению с алгоритмом MMSE без увеличения порядка сложности;

– установлено, что использование предложенной негауссовской аппроксимации априорного распределения совместно с модифицированным методом Ньютона для систем Massive MIMO с кратностью модуляции 256QAM и выше позволяет обеспечить выигрыш в помехоустойчивости примерно 6 дБ при увеличении сложности обработки на 17% (в 1,17 раза) по сравнению с алгоритмом MMSE.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что

– показана эффективность учета априорной информации о передаваемом сигнале в виде нелинейной функции в алгоритмах демодуляции для систем Massive MIMO на основе метода Чебышева;

– доказано, что при использовании предложенной негауссовской аппроксимации априорного распределения в виде семейства распределений, в котором гауссовское распределение и равномерное распределение являются крайними частными случаями, вычисление оценок максимума апостериорной плотности вероятности (Maximum A posterior Probability,

MAP) сводится к системе нелинейных (степенных) уравнений, которая может быть решена с помощью методов, имеющих полиномиальную сложность;

– установлено, что использование новой негауссовской аппроксимации априорного распределения в системах Massive MIMO с высоким порядком модуляции позволяет получить алгоритмы демодуляции без необходимости перебора комбинаций информационных символов с более высокой помехоустойчивостью, чем у алгоритма MMSE;

– разработан новый нелинейный итерационный алгоритм демодуляции на основе метода Чебышева с оценками собственных значений для систем беспроводной связи, использующих технологию MIMO с большим числом антенн, который обладает лучшими характеристиками помехоустойчивости и обеспечивает энергетический выигрыш порядка 1,5 – 2,3 дБ при меньшей или примерно той же сложности, что и алгоритм MMSE;

– на основе предложенной негауссовской аппроксимации априорного распределения с использованием модифицированного метода Ньютона разработан новый алгоритм демодуляции, характеристики помехоустойчивости, которого улучшаются при увеличении числа антенн и кратности модуляции при сохранении приемлемой вычислительной сложности (порядок сложности алгоритма MMSE), что позволяет использовать его в системах Massive MIMO.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что предложенные Степановой А.Г. алгоритмы могут быть реализованы и использованы для демодуляции в системах Massive MIMO. Основные положения и выводы диссертации Степановой А.Г. могут быть использованы в НИР, направленных на повышение качества демодуляции в системах Massive MIMO. Кроме того, результаты могут быть востребованы в научно-практической и педагогической работе, проводимой в высших учебных заведениях при подготовке инженерных и научных кадров в области связи и

телекоммуникаций и других научных и производственных организациях, занимающихся исследованиями и разработкой в области телекоммуникаций.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается корректностью применения математического аппарата, сопоставлением результатов исследования, полученных путем имитационного моделирования с характеристиками известного алгоритма MMSE, с данными отечественного и зарубежного опыта. Также широким спектром публикаций и выступлений, как на российских, так и на международных конференциях.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все результаты, сформулированные в основных положениях, выносимых на защиту, получены автором самостоятельно. Из работ, опубликованных в соавторстве, в диссертацию включена та их часть, которая получена автором лично.

Диссертация Степановой Анастасии Георгиевны является научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной задачи – разработки итерационных алгоритмов демодуляции в системах беспроводной связи, использующих технологию MIMO с большим числом антенн, вычислительная сложность которых имеет тот же порядок, что и у алгоритма MMSE, при этом характеристики помехоустойчивости лучше, чем у алгоритма MMSE.

По новизне, уровню научной проработки и практической значимости полученных результатов работа отвечает требованиям пунктов 9 – 10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Степанова Анастасия Георгиевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» (исследование и разработка новых сигналов, а также соответствующих модемов, кодеков, мультиплексоров и селекторов, обеспечивающих высокую надежность и качество обмена информацией в условиях воздействия внешних и внутренних помех).

На заседании «31» января 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Степановой Анастасии Георгиевне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 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 «31» января 2024 г.