

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.224.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ»
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета 24.1.224.03 от 06.02.2025, № 2

О присуждении Боброву Евгению Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Методы машинного обучения и оптимизации для повышения эффективности многоантенных систем» по специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика» принята к защите 20 июня 2024 г., протокол № 4, диссертационным советом 24.1.224.03 на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук» (ФИЦ ИУ РАН), 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44/2, созданным на основании приказа Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1732/нк от 13.12.2022.

Соискатель Бобров Евгений Александрович, дата рождения 04.01.1996 г., в 2019 г. окончил факультет Вычислительной Математики и Кибернетики Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова по направлению «Прикладная математика и информатика». С 2019 по 2023 г. обучался в очной аспирантуре ВМК МГУ. В 2022 г. был прикреплен к аспирантуре ФИЦ ИУ РАН для подготовки диссертации. В настоящее время работает в ООО «Техкомпания Хуавэй» в должности старшего инженера.

Диссертация выполнена в отделе № 12 ФИЦ ИУ РАН.

Научный руководитель — д.ф.-м.н., проф. Сенько Олег Валентинович — ведущий научный сотрудник отдела № 12 ФИЦ ИУ РАН.

Официальные оппоненты:

Кабатянский Григорий Анатольевич, доктор физико-математических наук, вице-президент по науке и академическому сотрудничеству Сколковского института науки и технологий,

Кузьмин Лев Викторович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий на основе принципов динамического хаоса и твердотельной функциональной электроники Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук в своём положительном отзыве, подписанном Вишневым Владимиром Мироновичем, д.т.н., профессором, заведующим лабораторией № 69 «Телекоммуникационные системы», указала, что работа содержит новые значимые теоретические и практические результаты, а представленные в диссертации выводы обоснованы корректно. В отзыве ведущей организации сформулирован ряд замечаний, не носящих принципиального характера и не снижающих общей положительной оценки диссертации. Отмечено, что диссертация полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика», а её автор, Бобров Е.А., заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по данной специальности.

Всего по тематике диссертации опубликовано 10 научных работ. В изданиях ВАК опубликованы 3 работы, англоязычные версии двух из них индексируются в Scopus. Еще 6 работ опубликованы в журналах и материалах конференций, индексируемых Scopus.

Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в диссертации отсутствуют. Диссертация не нарушает п. 14 Положения о

присуждении учёных степеней. Автор подробно указал личный вклад в опубликованные в соавторстве работы.

Публикации соискателя по теме диссертации:

1. Бобров Е. Алгоритм предсказания вероятности успеха передачи сигнала в беспроводной системе связи с помощью машинного обучения // Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2022. № 3. С. 10–17. (**BAK, RSCI**)

Bobrov E. An Algorithm Is Described for Predicting the Probability of Success of Signal Transmission in a Wireless Communication System Using Machine Learning // Moscow University Computational Mathematics and Cybernetics. 2022. Vol. 46, N 3. P. 117–124. (**SCOPUS**)

2. Бобров Е. Алгоритмы машинного обучения и оптимизации в прикладных задачах беспроводной сотовой связи // Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2022. № 2. С. 3–12. (**BAK, RSCI**)

Bobrov E. Machine Learning and Optimization Algorithms in Applied Problems of Wireless Cellular Communications // Moscow University Computational Mathematics and Cybernetics. 2022. Vol. 46, N 2. P. 61–71. (**SCOPUS**)

3. Бобров Е. Применение машинного обучения к задаче выбора сигнально-кодовой конструкции // Математические методы распознавания образов: 21-я Всероссийская конференция с международным участием, ММРО-2023. Москва. 12–15 декабря 2023 года. Тезисы докладов. С. 189–191.

4. Bobrov E., Kropotov D., Lu H., Zaev D. Massive MIMO adaptive modulation and coding using online deep learning algorithm // IEEE Communications Letters. 2021. Vol. 26, N 4. P. 818–822. (**SCOPUS**)

5. Bobrov E., Kropotov D., Troshin S., Zaev D. Study on precoding optimization algorithms in massive MIMO system with multi-antenna users // Optimization Methods and Software. 2022. P. 1–16. (**SCOPUS**)

6. Bobrov E., Chinyaev B., Kuznetsov V. et al. Power allocation algorithms for massive MIMO systems with multi-antenna users // Wireless Networks. 2023. Vol. 29, N 8. P. 3747–3768. (**SCOPUS**)

7. Bobrov E. Deep Learning Algorithm for Maximizing the Spectral Efficiency of Wireless Systems // Pattern Recognition and Image Analysis. 2022. Vol. 32, N 4. P. 763–771. **(RSCI, BAK, SCOPUS)**

8. Bobrov E., Dordzhiev A. On Probability Shaping for 5G MIMO Wireless Channel with Realistic LDPC Codes // International Conference on Mathematical Optimization Theory and Operations Research / Springer. 2023. P. 203–217. **(SCOPUS)**

9. Mineev D., Bobrov E., Kuznetsov V. On the interference cancellation by reduced channel zero forcing class of precodings in massive MIMO systems // Telecommunication Systems. 2023. P. 1–12. **(SCOPUS)**

10. Bobrov E., Markov A., Panchenko S., Vetrov D. Variational autoencoders for precoding matrices with high spectral efficiency // International Conference on Mathematical Optimization Theory and Operations Research / Springer. 2022. P. 315–326. **(SCOPUS)**

На автореферат поступили отзывы:

1. Васильева Игоря Леонидовича, кандидата физико-математических наук, доцента, ведущего научного сотрудника и Груздевой Татьяны Владимировны, кандидата физико-математических наук, доцента, старшего научного сотрудника лаборатории невыпуклой оптимизации Института динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова Сибирского отделения РАН (ИДСТУ СО РАН). Отзыв положительный. Высказаны замечания к формулировке цели диссертационной работы и описанию задач оптимизации и методов их решения. Также отмечены отдельные технические недочеты.

2. Ляшева Владимира Александровича, кандидата технических наук, доцента кафедры мультимедийных технологий и телекоммуникаций Московского физико-технического института. Отзыв положительный. Отмечено, что в работе не описан способ синтеза данных для задачи выбора индекса сигнально-кодовой конструкции (Modulation and Coding Scheme, MCS) с помощью метода машинного обучения и недостаточно выполнен анализ методов оптимизации второго порядка в задаче распределения мощности между антеннами.

3. Сальникова Алексея Николаевича, кандидата физико-математических наук, доцента, ведущего научного сотрудника кафедры АСВК Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Отзыв положительный. Отмечено, что в автореферате уделяется мало внимания описанию вычислительной сложности предложенных методов и недостаточно внимания уделено их программной реализации. Также отмечено, что модель системы с многими входами и многими выходами (Multiple-Input Multiple-Output, MIMO) включает в себя случайные величины, однако в работе не указан конкретный способ перехода к детерминированным функциям оптимизации.

4. Златанова Николы, PhD, профессора Университета Иннополис. Отзыв положительный. Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что они являются известными специалистами в области машинного обучения и телекоммуникационных технологий, имеют публикации в авторитетных рецензируемых журналах и способны определить научную и практическую значимость диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

доказана теорема об асимптотическом разложении матрицы прекодера ARZF при условиях как большой, так и малой мощности шума на устройстве по сравнению с мощностью принимаемого сигнала;

доказана теорема об асимптотическом разложении функции SINR для прекодера ARZF при условии, что на каждом устройстве мощность шума много меньше мощности принимаемого сигнала;

предложен алгоритм оптимизации прекодера QNCD системы MIMO, использующий аппроксимацию матрицы эквалайзера MMSE-IRC, явно учитывающий по-антенные ограничения мощности и повышающий спектральную эффективность системы до 80% по сравнению с широко представленным в литературе методом RZF;

разработан алгоритм ODL на основе нейросети для предсказания успеха передачи данных (ACK) для различных значений индекса MCS в системе MIMO и

выбора в качестве подходящего индекса MCS максимальной компоненты произведения спектральной эффективности на оценку вероятности АСК, который улучшает спектральную эффективность системы до 20% при переменных скоростях движения пользователей по сравнению с широко используемым методом OLLA.

Теоретическая значимость исследования обусловлена доказанными теоремами об асимптотических свойствах, имеющими важное значение для определения характеристик прекодеров, оценки мощности принимаемого сигнала, процедур выбора сигнально-кодовой конструкции.

Практическая значимость исследования заключается в том, что разработаны алгоритмы, повышающие спектральную эффективность систем связи на основе технологии MIMO, что подтверждается результатами имитационного моделирования.

Личный вклад

В работе [6] автором получено асимптотическое разложение матрицы прекодера ARZF, а также асимптотическое разложение функции SINR для прекодера ARZF. В [5] автором разработан и исследован алгоритм квази-ньютоновской оптимизации матрицы прекодера QNCD. В [4] автором разработан и исследован алгоритм машинного обучения ODL для задачи выбора индекса MCS в беспроводных сетях MIMO. В [8] автором исследован способ вероятностного кодирования данных в беспроводных сетях. В [10] автором исследован метод вариационных автокодировщиков для оптимизации матрицы прекодера. В [9] автором проведены эксперименты и исследована взаимосвязь между матрицами прекодера и детектора.

Результаты в работах [1–3, 7] получены диссертантом лично при научном руководстве д.ф.-м.н. О.В. Сенько.

Достоверность полученных результатов подтверждена корректным применением математического аппарата; экспериментальной проверкой предлагаемых методов с помощью имитационного моделирования; публикацией результатов исследования в рецензируемых научных изданиях и материалах конференций по методам оптимизации и машинному обучению.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие замечания:

- Имитационное моделирование для различных методов прекодера проводится с учётом идеального знания матрицы канала (входных данных), в то время как в реальных системах все измерения осуществляются неточно, что может значительно влиять на итоговое качество работы предложенных методов.
- Численные эксперименты для оценки производительности прекодера проведены только для статичных сценариев; не исследовано влияние эффекта устаревания канала/прекодера.

Соискатель Бобров Е.А. ответил на замечания, указанные ему в ходе заседания.

На заседании 6 февраля 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Боброву Евгению Александровичу учёную степень кандидата физико-математических наук за существенный вклад в развитие методов оптимизации и машинного обучения для многоантенных систем связи.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика», участвовавших в заседании, из 29 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 21, против – 0, недействительных бюллетеней 1.

Председатель

диссертационного совета 24.1.224.03, д.ф.м.н.

Воронцов К.В.

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.1.224.03, к.т.н.

Рейер И.А.

6 февраля 2025 г.

