

ОТЗЫВ

Вытовтова Константина Анатольевича
на автореферат диссертации Голос Елизаветы Сергеевны
«Построение вероятностных моделей микро- и макромобильности для анализа энергоэффективности сетей подвижной связи «Новое радио»»,
представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика

Судя по автореферату, диссертация посвящена разработке вероятностных моделей для анализа энергоэффективности в сетях 5G «Новое радио» в виде поглощающих цепей Маркова. Работа интересна применением аппарата цепей Маркова с иерархической структурой: трехуровневая модель для анализа двойного подключения (глава 2) и двухуровневая модель для анализа комбинации механизмов энергосбережения (глава 3). Такой подход отражает декомпозицию сложной системы на сравнительно простые модели, для каждой из которых получено среднее число посещений состояний.

Наиболее интересным является результат главы 2 — сравнительный анализ трёх сценариев двойного подключения. Автор демонстрирует (рис. 1а), что при высокой плотности блокаторов с точки зрения энергоэффективности сценарий FR2/LTE оказывается значительно выгоднее сценария FR2/FR1, что объясняется более низким энергопотреблением LTE-интерфейса. Это нетривиальный вывод, поскольку интуитивно ожидается, что более современный интерфейс NR FR1 должен быть эффективнее. Важно и то, что автор связывает выбор сценария с типом приложения: для чувствительных к перебоям, но нетребовательных к скорости приложений рекомендуется FR2/LTE, для интенсивного трафика с допустимыми разрывами — FR2/FR2.

В автореферате, соответствующем теме диссертационной работы, раскрыты актуальность, цель и задачи исследования, а также научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

Недостатком автореферата является отсутствие в выражениях для показателей энергоэффективности в явном виде параметров, отражающих

зависимость энергопотребления от условий радиоканала и параметров процедур выравнивания луча и поиска канала.

Указанный недостаток не влияет на положительную оценку работы в целом. Исходя из автореферата, можно сделать вывод, что диссертационное исследование является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», а её автор, Голос Елизавета Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3 «Теоретическая информатика, кибернетика».

10 июня 2026 г.

Вытовтов Константин Анатольевич, доктор технических наук (05.13.18 – Математические модели, численные методы и комплексы программ), доцент, ведущий научный сотрудник, лаборатория 49 инфраструктурных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, e-mail: vytovtov_konstan@mail.ru.

Подпись

ВЕД. ИНЖЕЧЕР

ЗАЛОЖНЕВА Л.А.



/ Вытовтов К.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук
Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 65
Тел.: +7 495 334-89-10. Факс: +7 495 334-93-40, +7 499 234-64-26. E-mail: dan@ipu.ru
Страница в интернете: <https://www.ipu.ru>

ОТЗЫВ

Дворковича Александра Викторовича
на автореферат диссертации Голос Елизаветы Сергеевны
«Построение вероятностных моделей микро- и макромобильности для
анализа энергоэффективности сетей подвижной связи «Новое радио»»,
представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика,
кибернетика

Разработка вероятностных моделей микро- и макромобильности для анализа энергоэффективности сетей подвижной связи «Новое радио» представляется актуальной в связи с быстрым развитием 5G/6G-систем, ростом требований к автономности пользовательских устройств и необходимостью учета особенностей высокочастотных каналов связи, чувствительных к рассогласованию лучей и блокировкам прямой видимости между приемо-передающими устройствами. В автореферате показаны математические модели в виде цепей Маркова для анализа энергопотребления, энергоэффективности, спектральной эффективности и времени работы батареи при различных сценариях двойного подключения и при комбинированном применении механизмов энергосбережения DRX, WUS и RRM-relaxation. Насколько можно судить по автореферату, представленные результаты содержательно обоснованы и практически значимы, поскольку позволяют сформулировать рекомендации по выбору сценариев подключения и режимов энергосбережения для сетей радиодоступа «Новое радио».

В качестве недостатков автореферата можно указать следующее:

- не приведено описание формы области покрытия базовой станции в Утверждении 1 в главе 1 диссертации (стр. 9-10 автореферата);
- при анализе чувствительных к задержке приложений следует учитывать спектральную эффективность радиоканала между приемо-передающими устройствами; неясно, учитывается ли это в модели при рассмотрении X-VR и веб-серфинга (стр. 15).

- из автореферата не указан вклад соискателя в опубликованных по теме диссертации работах.

Указанные замечания не влияют на положительную оценку работы в целом. Исходя из автореферата, можно сделать вывод, что диссертационное исследование является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», а её автор, Голос Елизавета Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3 «Теоретическая информатика, кибернетика».

17 июня 2026 г.

Дворкович Александр Викторович — гражданин РФ, доктор технических наук (специальность 05.12.04 — Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения), член-корреспондент Российской академии наук, руководитель проекта НИЦ телекоммуникаций ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ, Физтех).

/ Дворкович А.В.

ПОДПИСЬ РУКИ
ЗАВЕРЯЮ:
АДМИНИСТРАТОР КАНЦЕЛЯРИИ
АДМИНИСТРАТИВНОГО ОТДЕЛА
О. А. КОРАБЛЕВА



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ, Физтех)

Адрес: 141701, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский переулок, дом 9
Тел.: +7 (495) 408-57-00. Email: info@mipt.ru

ОТЗЫВ

Кучерявого Андрея Евгеньевича
на автореферат диссертации Голос Елизаветы Сергеевны
«Построение вероятностных моделей микро- и макромобильности для анализа энергоэффективности сетей подвижной связи «Новое радио»»,
представленной к защите в ПДС 0200.006 на базе
Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика

Диссертация Голос Е.С., содержание которой представлено в автореферате, посвящена актуальной задаче повышения энергоэффективности пользовательских устройств в сетях 5G «Новое радио». Работа выполнена на высоком научном уровне, о чём свидетельствуют публикации в ведущих журналах (IEEE Transactions on Mobile Computing, Future Internet) и участие в проекте РФФ.

Автором получены следующие результаты, имеющие практическую ценность.

- Разработан алгоритм расчёта параметра экспоненциального распределения для модели микромобильности, учитывающий линейные и угловые скорости смещения, а также число антенных элементов. Это позволяет оперативно оценивать частоту рассогласования лучей без проведения сложного имитационного моделирования.
- Построена трехуровневая модель для анализа двойного подключения, которая даёт количественные оценки энергопотребления для трёх сценариев тандема «основная/резервная базовые станции»: FR2/FR2, FR2/FR1 и FR2/LTE. Ключевой вывод: при высокой плотности блокаторов наиболее энергоэффективным оказывается сценарий FR2/LTE, а не FR2/FR1, как ожидается.
- Для устройств с урезанной функциональностью RedCap показано, что комбинация механизмов DRX+WUS+RRM-релаксация даёт наилучшую энергоэффективность, однако для приложений с жесткими требованиями к скорости передачи данных (расширенная виртуальная реальность) достаточно базового DRX.

Автореферат полностью соответствует теме диссертационной работы, раскрывает актуальность, цель и задачи исследования, а также научную новизну и практическую ценность полученных результатов.

Замечу, что при составлении рекомендаций по реализации сценариев двойного подключения и вариантов комбинации механизмов энергосбережения автор, судя по автореферату, не учитывает влияние емкости батареи B_C .

Указанное замечание не влияет на положительную оценку работы в целом. Исходя из автореферата, можно сделать вывод, что диссертационное исследование является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание

ОТЗЫВ

Пауль Светланы Владимировны
на автореферат диссертации Голос Елизаветы Сергеевны
«Построение вероятностных моделей микро- и макромобильности для анализа
энергоэффективности сетей подвижной связи «Новое радио»,
представленной к защите на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика

Актуальность исследования Голос Е. С. обусловлена фундаментальным противоречием, возникшим при использовании миллиметрового диапазона длин волн в технологии радиодоступа сетей 5G: узконаправленные лучи, обеспечивающие высокие скорости передачи, делают соединение критически зависимым от точного выравнивания антенн и наличия прямой видимости между приемником и передатчиком. Даже незначительный поворот устройства (микромобильность) или появление на линии прямой видимости случайного препятствия, экранирующего сигнал, (макромобильность) приводят к разрыву соединения и запуску энергозатратных процедур управления лучом. Функция мультисвязности повышает надёжность непрерывного соединения, но платой становится дополнительное энергопотребление. Таким образом, разработка математических моделей для количественной оценки энергоэффективности в таких условиях безусловно является актуальной задачей.

В ходе исследования автором получены следующие значимые результаты. Предложены методы построения аппроксимации распределений интервалов до наступления событий микро- и макромобильности экспоненциальными законами распределения. Разработанный алгоритм № 1 позволяет вычислить параметр экспоненциального распределения для микромобильности на основе исходных данных о скоростях смещения, угловых скоростях и числе антенных элементов пользовательского устройства. Построена трехуровневая поглощающая цепь Маркова для анализа двойного подключения, объединяющая модели переключения приложений, взаимодействия с базовыми станциями и работы базового механизма «прерывистый прием». Разработана двухуровневая модель для анализа комбинированного применения механизмов «прерывистый прием», «сигнал пробуждения» и «релаксации управления радиоресурсами» для устройств RedCap.

Автореферат полностью соответствует теме диссертационной работы, раскрывает актуальность, цель и задачи исследования, а также научную новизну и практическую ценность полученных результатов.

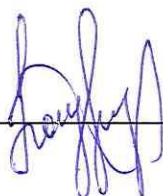
К недостаткам автореферата можно отнести следующее замечание: не ясно, применимы ли разработанные модели к анализу показателей энергоэффективности для произвольного сценария перемещения пользователей.

Указанное замечание не влияет на положительную оценку работы в целом. Исходя из автореферата, можно сделать вывод, что диссертационное исследование является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в федеральном государственном

автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», а её автор, Голос Елизавета Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

Пауль Светлана Владимировна, доктор физико-математических наук (1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцент, профессор кафедры теории вероятностей и математической статистики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

«11» июня 2026 г.



Пауль Светлана Владимировна

тел. +79138281214; email: paulsv82@mail.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36.

Тел.: +7(3822) 529-585

E-mail: rector@tsu.ru

Страница в интернете: <http://www.tsu.ru>

