

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Голос Елизаветы Сергеевны
«Построение вероятностных моделей микро- и макромобильности для
анализа энергоэффективности сетей подвижной связи «Новое радио»»,
представленную 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»

Актуальность темы диссертационной работы

Развитие сетей подвижной связи сопровождается ростом количества пользователей, а также возможностей этих сетей, что отражается в каждом из поколений этих сетей. В настоящее время в сетях подвижной связи 4-го и 5-го поколений предоставляется множество информационных услуг, в основе которых лежит передача данных. С развитием услуг растут требования к скорости передачи данных и задержке их доставки между отправителем и получателем. С целью обеспечения этих требований в каждом из поколений сетей повышается ширина полосы каналов и используемые для организации связи частоты. Для повышения пропускной способности используются различные технологии на уровне радиодоступа, такие как пространственно-временное уплотнение (MIMO), управление диаграммами направленности антенн (beamforming).

Применение сверхвысоких частот «Новое радио» (NR) приводит к необходимости учитывать особенности распространения сигнала, а именно использовать механизмы динамического управления направленностью антенн в условиях перемещения абонентских терминалов. Это довольно сложная задача, так как требует от сети способности адаптации под самые разнообразные сценарии поведения пользователя, например, перемещения руки с терминалом на расстояния, измеряемые десятками сантиметров, так и перемещения пользователя в транспортном средстве с высокой скоростью.

Для сигналов сверхвысоких частот возникают проблемы, связанные с блокированием различными препятствиями, интерференцией с отраженными сигналами др.

В таких условиях первостепенную роль приобретают эффективные методы управления сетью доступа, обеспечивающие требования по качеству предоставления услуг. Качество таких методов характеризуется энергоэффективностью сети.

На основе сказанного можно утверждать, что тема диссертационной работы Голос Елизаветы Сергеевны «Построение вероятностных моделей микро- и макромобильности для анализа энергоэффективности сетей подвижной связи «Новое радио»», а также ее цель, которая заключается в разработке математических моделей для анализа и расчета показателей эффективности механизмов макро- и микро-мобильности, и энергоэффективности сети крайне актуальны и полностью соответствуют специальности 1.2.3 «Теоретическая информатика, кибернетика».

Характеристика содержания диссертационной работы

Диссертационная работа Голос Е.С. состоит из трех глав, каждая из которых посвящена определенным аспектам построения вероятностных моделей микро- и макромобильности для анализа энергоэффективности сетей подвижной связи. **Введение** диссертационной работы содержит обоснование актуальности темы исследования, формулировку цели и задач, а также краткий обзор методов и подходов, используемых в работе. **Первая глава** включает в себя обзор литературы, в которой рассматриваются основные принципы решения вопросом мобильности абонентов в сетях NR, вопросы влияния микро- и макромобильности на энергоэффективность сетей, моделирование особенностей сетей 5G NR, приведены базовые модели состояний пользовательского устройства в виде цепи Маркова и рассмотрено применение базовых моделей к решению задачи мультисвязности и выполнен численный анализ.

Во второй главе разработана модель двойного подключения как реализации мультисвязности, системная модель двойного подключения, модель состояний пользовательского устройства, приведен численный анализ характеристик сценариев двойного подключения.

В третьей главе разработана модель, описывающая энергоэффективность пользовательских устройств в сетях 5G «Промышленный интернет вещей», разработана системная модель подключения пользовательского устройства с урезанной функциональностью, модель состояний пользовательского устройства для анализа механизмов энергосбережения, приведен численный анализ характеристик механизмов энергосбережения.

Достоверность и новизна результатов диссертации

Для обеспечения достоверности результатов диссертации автором был проведен анализ литературных источников, в том числе спецификаций, связанных с технологией NR в беспроводных сетях 5G и 6G. Достоверность полученных результатов подтверждается использованными в работе методами математической теории телетрафика и имитационного моделирования, а также их апробацией на всероссийских и международных конференциях.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

-разработанные модели микро- и макромобильности позволили провести анализ 4 показателей энергоэффективности ПУ (энергопотребление, энергоэффективность, спектральную эффективность и время работы батареи) в течение непрерывного соединения с сетью при одновременном учете всех особенностей процедур установления и поддержания соединения в беспроводных сетях 5G NR;

-разработанная комбинированная модель состояний пользовательского устройства в течение непрерывного соединения с сетью позволила выполнить сравнительный анализ энергоэффективности ПУ с функцией мультисвязности

при одновременном учете микро- и макромобильности в нескольких сценариях двойного подключения;

-разработанная комбинированная модель состояний пользовательского устройства в течение непрерывного соединения с сетью в виде двухуровневой цепи Маркова позволила выполнить сравнительный анализ энергоэффективности ПУ при применении механизмов энергосбережения.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, содержащиеся в диссертации, достоверны и логично аргументированы. Проведенные численные эксперименты были подтверждены анализом данных. Выводы, полученные в диссертации, являются обоснованными и могут быть использованы для оптимизации производительности сетей подвижной связи NR.

Ценность для науки и практики результатов работы

Полученные в диссертации результаты имеют высокую научную и практическую значимость при проектировании сетей связи в условиях ограниченности ресурсов и высоких показателях качества обслуживания. Практические результаты диссертации могут быть применены в области сетевых технологий, в частности, при проектировании и оптимизации сетей связи, в телекоммуникационных компаниях, провайдерах интернет-услуг. Теоретические результаты диссертации могут быть использованы для разработки новых алгоритмов управления сетью доступа NR и анализа энергоэффективности.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

Математические модели, основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы и апробированы на международном и всероссийском уровне – опубликовано 7 научных работ, в том числе 3 статьи

в изданиях Scopus/WoS, автором получены 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат диссертации содержит обоснованные выводы, полученные в результате проведения численных экспериментов и анализа данных, касающихся эффективности нарезки ресурсов. Оформление автореферата соответствует требованиям.

Замечания по диссертационной работе

В процессе изучения диссертационной работы возникли определенные вопросы, требующие уточнения.

1. Автор описывает распределение времени до микромобильности, экспоненциальным распределением (Алгоритм 1.1, шаг 4). Хотя это упрощает анализ, экспоненциальное распределение обладает свойством отсутствия памяти, что не вполне соответствует физике микромобильности: поведение пользователя обладает инерцией, и вероятность разрыва связи зависит от прошлого (например, длительности текущего сеанса услуги виртуальной реальности). Такое упрощение несколько искажает реальную динамику и может приводить к завышенной оценке надёжности соединения.

2. Автор полагает, что все состояния устройства пользователя имеют фиксированное удельное энергопотребление (Таблицы 1.1, 2.4, 3.3). Однако в реальности: энергопотребление зависит от расстояния до базовой станции (из-за адаптивной мощности передачи), от числа активных антенных элементов, от уровня шума (помех) и необходимости повторных передач кадра.

Эти факторы игнорируются, что может привести к систематической недооценке энергозатрат в условиях высокой нагрузки или плохого канала.

3. Автор утверждает, что предложенные рекомендации «повышают время автономной работы без ущерба для качества обслуживания». Однако: время работы батареи увеличивается за счёт снижения спектральной эффективности (меньше данных передаётся). Для некоторых приложений даже небольшие задержки (>10 мс) недопустимы и вызывают дискомфорт.

Таким образом, компромисс между энергией и качеством неизбежен, но он не всегда явно представлен.

4. В работе не рассмотрены аспекты надежности: отказы датчиков движения (гироскопов, акселерометров), потеря синхронизации между базовой станцией и устройством пользователя, атаки направленные на расход энергии (ложные сигналы пробуждения устройств). Эти факторы могут быть критичны для систем, ориентированных на промышленный интернет вещей, где надёжность важнее энергоэффективности.

5. Имеют место отдельные опечатки и неточности, например: в первой главе, формулы (1.9) - (1.12), в тексте фигурирует термин «угловая ширина луча», однако формулы дают оценку половины угла раскрыва конуса (HPBW - half-power beamwidth), это стоило бы пояснить; опечатка в таблице 3.2 – единицы измерения напряжения аккумулятора указаны неверно, также неверно указано и численное значение напряжения.

Тем не менее, указанные замечания не снижают научно-практическую ценность диссертации и не влияют на основные положения.

Заключение

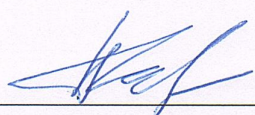
Диссертационное исследование Голос Елизаветы Сергеевны на тему «Построение вероятностных моделей микро- и макромобильности для анализа энергоэффективности сетей подвижной связи «Новое радио»» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи создания модельно-методического аппарата, обеспечивающего анализ энергоэффективности сетей подвижной связи «Новое радио» с учетом микро- и макромобильности.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, согласно п.2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного Ученым советом РУДН протокол № 12 от 23.09.2019г., а её автор, Голос Елизавета Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3 «Теоретическая информатика, кибернетика».

Официальный оппонент

25 мая 2026 г.

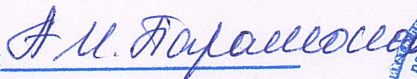
Парамонов Александр Иванович
доктор технических наук (05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций), профессор, профессор кафедры сетей связи и передачи данных



/ А.И. Парамонов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ)
193232, г. Санкт-Петербург, просп. Большевиков, д. 22, корп. 1
тел.: +7 (812) 305-12-65, доб. 12-65
paramonov@sut.ru

Подпись (-и) руки



заверяю

Исполнитель управления персоналом



А.Д. Смородинцева

25.05.20

