



Отзыв официального оппонента

Канаева Андрея Константиновича на диссертацию
Янковского Никиты Андреевича на тему «Модели и методы динамического
распределения ресурсов в сетях 5G», представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности
2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Н.А. Янковского посвящена вопросам управления ресурсами в сетях пятого поколения, что обусловлено необходимостью поддержки разнородных сервисов с различными требованиями к качеству обслуживания. Современные сети 5G должны одновременно обеспечивать сверхширокополосную мобильную связь (eMBB), сверхнадёжную связь с минимальными задержками (URLLC) и реализацию большого количества межмашинных коммуникаций (mMTC). Эти сценарии предъявляют противоречивые требования к распределению частотно-временного ресурса, что делает традиционные подходы малоэффективными.

Особую значимость работа приобретает в свете стратегических задач развития отечественной телекоммуникационной инфраструктуры до 2035 года, где особое внимание уделяется созданию гибридных сетей и обеспечению доступа к услугам 5G на всей территории страны. Несмотря на активные исследования в этой области, остаются не до конца проработанными вопросы совместного обслуживания трафика разных типов в восходящем и нисходящем каналах, а также адаптивной привязки пользователей к базовым станциям. Таким образом, представленная работа, направленная на создание новых моделей и методов динамического распределения ресурсов, является актуальной и востребованной.

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

Представленные в диссертации научные результаты и выводы являются хорошо обоснованными. Достоверность обеспечивается корректным

использованием аппарата теории массового обслуживания, теории вероятностей, методов оптимизации и имитационного моделирования. Экспериментальные данные, полученные автором, согласуются с теоретическими выкладками и не противоречат известным работам других исследователей. Основные результаты опубликованы в рецензируемых изданиях и прошли апробацию на российских и международных конференциях, что подтверждает их достоверность. Все основные результаты диссертации получены автором самостоятельно. Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, а также в изданиях, индексируемых в Scopus, и представлены на всероссийских и международных конференциях.

Научная новизна, теоретическая и практическая ценность результатов диссертации

В диссертации представлены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Математические модели восходящего и нисходящего каналов сетей 5G. Предложенные модели, описывающие каналы связи как системы массового обслуживания типа $G|G|1$ с приоритетным обслуживанием, отличаются от известных учётом специфики всех трёх сценариев использования (eMBB, URLLC, mMTC) и особенностей генерируемого ими трафика.

2. Метод доступа устройств M2M к ресурсам сетей 5G в восходящем канале. Предложенный метод, сочетающий алгоритм скользящего сетевого кодирования (SNC) и динамическое изменение числа преамбул на основе прогнозирования трафика. В отличие от статического распределения преамбул или простейших адаптивных алгоритмов, предложенный метод использует комбинацию из двух моделей машинного обучения: SVR-регрессии для оценки числа активных устройств и рекуррентной нейронной сети для прогнозирования количества новых запросов. Это позволяет системе динамически и с высокой точностью перераспределять ограниченный ресурс

преамбул между URLLC и mMTC трафиком, минимизируя коллизии и сокращая число повторных передач.

3. Метод мультиплексирования битовых потоков URLLC и eMBB трафика в нисходящем канале в отличие от традиционных методов мультиплексирования, таких как прокол (puncturing) или наложение (overlapping), которые могут приводить к значительной деградации eMBB-трафика, предложенный метод обеспечивает «пороговую модель» потерь для eMBB. Это означает, что влияние на пропускную способность eMBB становится существенным только после достижения определённого порога нагрузки URLLC, что было продемонстрировано в результатах моделирования.

4. Модель динамической ассоциации устройств с базовой станцией в отличие от классических методов, основанных на максимизации уровня принимаемого сигнала (RSSI) или отношения сигнал-помеха-шум (SINR), а также от методов со статическим смещением (Cell Range Extension), предложенное решение использует прогнозирование будущей нагрузки на базовые станции с помощью LSTM-сетей. Это позволяет осуществлять упреждающую балансировку нагрузки, а не реагировать на уже возникшую перегрузку.

Теоретическая значимость результатов диссертации заключается в развитии методов теории телетрафика и системного анализа применительно к современным сотовым сетям связи. Предложенные в работе математические модели сосуществования гетерогенных типов трафика (URLLC/mMTC, URLLC/eMBB) вносят вклад в теорию проектирования сетей 5G и последующих поколений. Выведенная асимптотическая нижняя граница средней задержки может служить теоретическим ориентиром при разработке новых алгоритмов планирования и ассоциации.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в возможности непосредственной реализации предложенных моделей и алгоритмов в телекоммуникационном оборудовании и программном

обеспечении базовых станций. Это позволит операторам связи и разработчикам:

- повысить пропускную способность и энергоэффективность сетей 5G за счёт динамического управления доступом;
- обеспечить гарантированное качество обслуживания (QoS) для критически важных приложений URLLC в условиях высокой плотности устройств mMTC;
- оптимизировать загрузку сети и снизить задержки за счёт адаптивной ассоциации пользователей.

Основные научные результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» при проведении практических занятий и лабораторных работ по дисциплинам «Вычислительные системы, сети и телекоммуникации» и «Инфокоммуникационные системы и сети».

Характеристика содержания диссертации и публикаций по теме работы

Содержание диссертации, общий объем которой составляет 131 страниц, включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 90 наименований и приложения. Работа содержит 47 рисунков и 8 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи, определены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. В первой главе выполнен системный анализ архитектуры и сценариев использования сетей 5G, выявлены проблемы распределения ресурсов и сформулирована постановка задачи исследования. Во второй главе предложены методы для восходящего канала: алгоритм скользящего сетевого кодирования и метод динамического изменения числа преамбул на основе машинного обучения; представлены результаты моделирования. В третьей главе разработан метод адаптивного мультиплексирования для нисходящего

канала на основе комбинации LDPC и TCM кодов. В четвертой главе предложен метод динамической ассоциации пользователей с использованием LSTM-сетей и асимптотической нижней границы задержки. В заключении сформулированы основные результаты работы.

По теме диссертации опубликовано 17 научных работ: 6 работ – в журналах из перечня ВАК; 5 – в изданиях, индексируемых Scopus, и 5 – в сборниках конференций, индексируемых РИНЦ. По теме диссертации получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Диссертация написана технически грамотным языком, обладает внутренним единством и логической последовательностью изложения. Оформление работы соответствует требованиям ГОСТ. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Замечания по диссертационной работе

1. Во введении автор определяет предмет исследования как «применение методов и моделей распределения ресурсов в сетях 5G». Однако в первой главе не приводит полный перечень ресурсов сетей 5G и обоснование выбора его подмножества, с которым планирует работать в рамках диссертации.
2. Вторая и третья главы диссертации посвящены разработке моделей и методов в отношении «восходящего и нисходящего каналов сети 5G» однако детальный анализ существующего уровня научно-технических решений в отношении восходящего и нисходящего каналов сети 5G приведен в очень ограниченном объеме.
3. Во второй главе несколько раз упоминается «последовательность Задоффа-Чу» однако в отечественной научной и учебной литературе принято указывать наименование «последовательность Задова-Чу».
4. Раздел 2.4.3. «Результаты сравнения методов скользящего сетевого кодирования...» содержит графические зависимости «средней задержки от

числа устройств», однако не указано на основе какой модели получены эти зависимости.

5. Разделы 2 и 3 содержат ряд описаний моделей на основе UML диаграмм с высокой детализацией логики работы моделей, однако отсутствуют сведения о среде моделирования, об особенностях реализации моделей и процесса моделирования.
6. Полученный очень интересный результат в разделе 4.4 «Модель динамической ассоциации пользователей с БС» имеет скудное описание самой модели. В том числе на стр. 109 указано, что обучение LSTM-сети проводилось на данных полученных методом Монте-Карло, включение этих результатов в диссертацию значительно усилило бы понимание масштаба и глубины полученных решений.

Заключение

Диссертация соискателя Янковского Никиты Андреевича является законченной научно-квалификационной работой, результаты которой обладают научной новизной и практической значимостью. В диссертации решена актуальная научная задача разработки моделей и методов, обеспечивающих эффективное динамическое распределение ресурсов в сетях 5G для удовлетворения показателей QoS в условиях гетерогенного трафика. Материалы исследования достаточно полно отражены в публикациях автора и прошли апробацию на научных конференциях.

Оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям. Содержание и научные результаты диссертационной работы соответствуют пунктам 2, 6, 8 и 18 паспорта научной специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций». Автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации.

Несмотря на отмеченные замечания, диссертация Янковского Н.А. на тему «Модели и методы динамического распределения ресурсов в сетях 5G» соответствует требованиям Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября

2013 г. № 842 и оценивается положительно, а ее автор – Янковский Никита Андреевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ:

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электрическая связь», факультет «Автоматизация и интеллектуальные технологии» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»



Андрей Константинович Канаев

«22» 05 2026 г.

Подпись А.К. Канаева заверяю



Подпись руки Канаева А. К.
удостоверяю.
Начальник Службы управления персоналом
университета  Г.Е. Егоров
22 05 2026 г.

190031, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9,
тел. 8 (800) 302-06-60, e-mail: dou@pgups.ru