

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор-  
проректор по научной работе РУДН  
доктор медицинских наук,  
профессор, член-корр. РАН



А.А. Костин

14.12.2022

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН) на основании решения, принятого на заседании кафедры прикладной информатики и теории вероятностей факультета физико-математических и естественных наук РУДН.**

Диссертация «Модели и анализ показателей эффективности механизмов выгрузки трафика в гетерогенных беспроводных сетях» выполнена на кафедре прикладной информатики и теории вероятностей факультета физико-математических и естественных наук.

Дараселия Анастасия Валерьевна, 06.06.1994 года рождения, гражданка России, в 2016 году окончила магистратуру ФГАОУ ВО РУДН по направлению «Фундаментальная информатика и информационные технологии».

С 22.09.2018 по 01.07.2021 гг. обучалась в аспирантуре РУДН по программе подготовки научно-педагогических кадров по направлению 02.06.01 — Компьютерные и информационные науки, профиль «Вычислительная математика», и была прикреплена с 20.06.2020 по 19.07.2020 для сдачи кандидатских экзаменов по направлению 09.06.01 — Информатика и вычислительная техника, соответствующему научной специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика, по которой подготовлена

диссертация на кафедре прикладной информатики и теории вероятностей РУДН.

Дараселия А.В. в период подготовки диссертации являлась сотрудником (в должности ассистента) кафедры прикладной информатики и теории вероятностей РУДН.

Документ о сдаче кандидатских экзаменов, соответствующих научной специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика, выдан в 2019 году в ФГАОУ ВО РУДН.

Научный руководитель – Сопин Эдуард Сергеевич, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностной Российского университета дружбы народов.

Тема диссертационного исследования в окончательной редакции была утверждена на заседании Ученого совета факультета физико-математических и естественных наук РУДН, 15.02.2022, протокол № 0201-08/07.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

**Оценка выполненной соискателем работы.**

В своем диссертационном исследовании Дараселия Анастасия Валерьевна построила модели выгрузки задач мобильных вычислений в среду туманно-облачных вычислений на основе пороговых значений объема вычислений и объема данных в виде каскадной СМО из трех типов узлов – мобильные устройства, беспроводная сеть, узел туманных вычислений и облачный дата-центр. Построила модель выгрузки трафика в нелицензированный диапазон частот с учетом неоднородности требований к радио ресурсам с использованием ресурсных систем массового обслуживания и цепи Маркова. Предложила три стратегии выгрузки трафика на нелицензированный спектр на основе объема ресурсов и требуемой минимальной скорости на устройстве.

**Личное участие соискателя в получении результатов,** изложенных в диссертации, состоит в:

- разработке модели выгрузки по пороговому значению задач мобильных вычислений в среду туманно-облачных вычислений в виде каскадной СМО из трех типов узлов – мобильные устройства, узел туманных вычислений и облачный дата-центр;
- разработке модели выгрузки в виде четырехкаскадной СМО с учетом случайной величины времени задержки передачи данных в беспроводной сети;
- формулирование и решение задачи минимизации энергопотребления мобильных устройств при ограничениях на среднее время отклика и вероятность превышения порога времени отклика;
- разработке модели выгрузки трафика мобильной сети из лицензированного диапазона частот в нелицензированный, состоящей из двух компонентов – СМО для анализа обслуживания трафика в лицензированном диапазоне и цепь Маркова, моделирующая механизм случайного доступа к среде передачи в нелицензированном диапазоне;
- построении модели выгрузки трафика из лицензированного диапазона частот в нелицензированный с учетом неоднородности требований к радио ресурсам.

#### **Степень достоверности результатов проведенных исследований.**

В работе применены строгие математические выводы при разработке методов анализа из теории вероятностей, теории массового обслуживания, теории марковских случайных процессов, а также математической теории телетрафика. Численные эксперименты проведены с использованием исходных данных, рекомендованных стандартами, и обосновывают характер полученных характеристик. Результаты, полученные с помощью аналитических моделей, сравниваются с результатами имитационного моделирования и сопоставимы. Результаты диссертационной работы по мере их получения были доложены на всероссийских и международных научных конференциях, и семинарах.

**Апробация работы.** Основные результаты докладывались на международных конференциях имени А.Ф. Терпугова ИТММ'2020 и ИТММ'2021, Томск, на международной конференции ICUMT'2018, Москва, на международной конференции PIMRC'2020, Лондон, на международных конференциях NEW2AN'2018 и NEW2AN'2019, Санкт-Петербург, на международной конференции APTR+MS'2018, Лиссабон, а также на всероссийских конференциях с международным участием ИТТММ'2019, ИТТММ'2020 и ИТТММ'2021, Москва.

**Новизна результатов проведенных исследований.**

1. В однопараметрической модели выгрузки задач с мобильных устройств, в отличие от известных, была учтена неоднородность задач по объему необходимых вычислений. Объем вычислений, от которого зависит время обслуживания, полагается случайной величиной с заданным распределением.
2. В модели выгрузки задач мобильных вычислений с двухпараметрическим критерием выгрузки, помимо неоднородности объема вычислений, были учтены неоднородность объема данных и случайная задержка при выгрузке в узел туманных вычислений. Рассматривается вероятность того, что время отклика меньше некоторого заданного порога. Ранее эту характеристику не исследовали, исследовались только средние значения.
3. В модели ресурсной СМО, описывающей передачу трафика в лицензированном диапазоне частот, получено распределение требований сброшенных заявок к ресурсу системы. Это позволило вычислить распределение скорости передачи данных в нелицензированных частотах.

**Теоретическая и практическая значимость проведенных исследований.** Разработанные математические модели позволяют провести анализ показателей эффективности механизмов выгрузки задач мобильных вычислений и выгрузки трафика в гетерогенных беспроводных сетях.

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы проектными телекоммуникационными компаниями, операторами сетей связи при планировании сетей радиодоступа для предоставления требуемого качества услуг.

**Ценность научных работ соискателя.** В рамках диссертационного исследования Дараселии Анастасии Валерьевны:

- была учтена неоднородность задач с точки зрения объемов необходимых вычислений и с точки зрения объема пересылаемых файлов на время отклика при анализе эффективности выгрузки задач мобильных вычислений.
- было получено распределение требований сброшенных сессий к ресурсу на лицензированном, спектре необходимых для вычисления распределения скорости передачи данных в нелицензированных частотах

**Специальность, которой соответствует диссертация.** Диссертация выполнена в соответствии с паспортом специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика» и включает оригинальные результаты, направленные на развитие методов оценки и расчета показателей эффективности телекоммуникационных сетей. В соответствии с п. 11 «Распределенные многопользовательские системы» паспорта специальности в диссертации поведен анализ эффективности выгрузки мобильных вычислений на узлы туманных вычислений и в удаленную систему облачных вычислений. В соответствии с п. 12 «Модели информационных процессов и структур» описан процесс передачи трафика, представлены процесс обслуживания сессии и механизмы выгрузки трафика на нелицензированный спектр в сетях сотовой связи пятого поколения. В соответствии с п. 23 «Новые интернет - технологии, включая средства поиска, анализа и фильтрации информации» паспорта рассматриваются технология 5G в нелицензированном спектре - New Radio Unlicensed (NR-U) и система туманно-облачных вычислений,

используемые для таких технологий как интернет вещей, виртуальная реальность и др.

**Полнота изложения** материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем. Основные результаты диссертационной работы изложены в 13 печатных работах, из которых 1 в ведущих рецензируемых изданиях, включенных в Перечень РУДН/ВАК, 8 – в изданиях, индексируемых в Web of Science/Scopus, а также работы в трудах международных и всероссийских научных конференций. Основные положения и результаты диссертации отражены в следующих опубликованных работах:

1. *Sopin E., Daraseliya A., Correia M., Performance Analysis of the Offloading Scheme in a Fog Computing System //10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). IEEE, Moscow, 2018: pp. 1–5.*
2. *Дараселия А.В., Сопин Э.С., Comparative Analysis of the Mechanisms for Energy Efficiency Improving in Cloud Computing Systems // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. Springer Nature Switzerland AG 2018 O. Galinina et al. (Eds.): NEW2AN 2018/ruSMART 2018, LNCS 11118, 2018: pp. 1–9.*
3. *Дараселия А.В., Сопин Э.С., Рыков В.В., On optimization of energy consumption in cloud computing system, Proceedings of the Selected Papers of the 12th International Workshop on Applied Problems in Theory of Probabilities and Mathematical Statistics (Summer Session) in the framework of the Conference on Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems (APTP+MS'2018). <http://ceur-ws.org/Vol-2332/paper-03-005.pdf>*
4. *Daraseliya A., Korshykov M., Sopin E., Moltchanov D., Koucheryavy Y. and Samouylov K., Handling Overflow Traffic in Millimeter Wave 5G NR Deployments using NR-U Technology // 2020 IEEE 31st Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2020: pp. 1-7. DOI: 10.1109/PIMRC48278.2020.9217313.*
5. *Korshykov M.V., Daraseliya A.V., Sopin E.S., Development of Analytical*

Framework for Evaluation of LTE-LAA Probabilistic Metrics // 19th International Conference, NEW2AN 2019, and 12th Conference, ruSMART 2019, Lecture Notes in Computer Science, 11660 LNCS, pp. 318-328. DOI: 10.1007/978-3-030-30859-9\_27

6. *Daraseliya A., Korshykov M., Sopin E., Moltchanov D., Andreev S. and Samouylov K.*, Coexistence Analysis of 5G NR Unlicensed and WiGig in Millimeter-Wave Spectrum // IEEE Transactions on Vehicular Technology.

7. *Daraseliya A. V., Sopin E. S., Moltchanov D. A., Samouylov K. E.*, Анализ стратегии разгрузки базовых станций 5G NR с помощью технологии NR-U // Информатика и ее применения Том 15. Вып. 3: 98-111. DOI: 10.14357/19922264210313

8. *Daraseliya A.V., Sopin E.S.*, Optimization of mobile device energy consumption in a fog-based mobile computing offloading mechanism // Discrete and Continuous Models and Applied Computational Science. Том 29, № 1 (2021), стр. 53-62.

9. *Daraseliya A.V., Sopin E.S.*, Optimization of task offloading thresholds in the fog computing system // Discrete and Continuous Models and Applied Computational Science 29 (1), 53-62.

10. *Daraseliya A., Korshykovy M., Sopin E.*, Оценка показателей эффективности разгрузки базовых станции 5G NR с помощью технологии NR-U // Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems 2021 (ИТТММ 2021), стр. 84-88.

11. *Дараселия А.В., Сопин Э.С.*, Вычисления добавочной скорости передачи данных в нелицензируемом спектре в системе 5G-U // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем (ИТТММ-2019), Москва. - 2019, С. 137-139.

12. *Коршиков М. В., Дараселия А.В., Сопин Э. С.*, К обзору спецификаций технологий для сетей связи пятого поколения // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем (ИТТММ-2019), Москва. - 2019, 2019. С. 152-155.

13. Дараселия А.В., Анализ механизмов повышения энергоэффективности облачных систем // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем (ИТТММ-2018). Москва: РУДН, апрель, 2018. С. 118-120.

В написанных в соавторстве работах основные результаты, представленные в диссертации, получены Дараселией Анастасией Валерьевной лично.

Текст диссертации был проверен на использование заимствованного материала без ссылки на авторов и источники заимствования. После исключения всех корректных совпадений иных заимствований не обнаружено.

Диссертационная работа Дараселии Анастасии Валерьевны рекомендуется к публичной защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

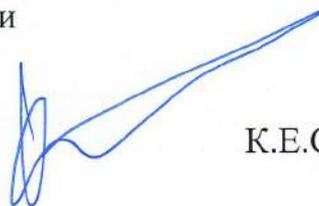
Заключение принято на заседании кафедры прикладной информатики и теории вероятностей факультета физико-математических и естественных наук Российского университета дружбы народов.

Присутствовало на заседании 35 чел.

Результаты голосования: «за» – 35 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел. Протокол № 0200-19/05 от 06.12.2022.

Председательствующий на заседании:

заведующий кафедрой прикладной информатики  
и теории вероятностей,  
доктор технических наук, профессор



К.Е.Самуйлов

Ученый секретарь Ученого совета  
факультета физико-математических  
и естественных наук РУДН,  
кандидат физико-математических наук



И.С. Зарядов