

Публичное акционерное общество «ГИПРОСВЯЗЬ»  
3-я Хорошевская ул., д. 11, Москва, 123298  
тел: (499) 197-0000, факс: (499) 197-1074  
www.giprosvyaz.ru, mail@giprosvyaz.ru

19.10.2022 № М-15/2906  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Кашкарова Дмитрия Владимировича на тему  
«Разработка и исследование моделей и методов обеспечения требований к  
характеристикам надежности для сетей связи с ультрамалыми  
задержками», представленной на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства  
телекоммуникаций.**

Переход к сетям пятого и последующих поколений характеризуется широким внедрением новых технологий и услуг сетей связи с ультрамалыми задержками uRLLC (ultra Reliable Low Latency Communications). Среди новых услуг, которые отсутствовали в сетях предыдущих поколений, особого внимания заслуживают тактильный интернет, автоматизация производства, дополненная реальность, а также, беспилотный транспорт с сетевой поддержкой. Предъявляемые требования к надежности для сетей связи uRLLC являются существенно более строгими, чем для существующих сетей. Метриками характеристик надежности для сетей с ультрамалыми задержками, с точки зрения отечественных регламентирующих документов, являются показатели вероятности безотказной работы и коэффициент готовности. В частности, показатель недоступности для сетей связи в терминах времени не должен превышать 4 мс в сутки, что в пересчете на коэффициент готовности дает значение 0,99999995. Для количественного и качественного обоснования реализуемости услуг с такими характеристиками необходима разработка новых моделей и методов обеспечения требований к характеристикам надежности в сетях связи, что и является целью исследования. Таким образом, цель диссертации, обозначенная автором, является назревшей и крайне важной, а тема диссертационной работы Кашкарова Дмитрия Владимировича, является несомненно, актуальной.

Судя по автореферату, диссертация содержит следующие *результаты, обладающие научной новизной*:

1. Предложен метод обеспечения требований к характеристикам надежности в гетерогенных сетях связи пятого и последующих поколений, отличающийся от известных использованием множественных соединений, что позволяет при равновероятном распределении трафика и равных вероятностях отказа оборудования для различных маршрутов получить с помощью целочисленного бинарного поиска оптимальное число маршрутов, при котором достигается минимум вероятности потерь.

2. Предложен метод решения задачи выбора маршрутов при использовании множественных соединений в условиях неравномерного распределения трафика и различных значениях вероятностей отказа оборудования для различных маршрутов отличающийся тем, что для решения задачи используется динамическое программирование, что позволяет получить выигрыш в значении относительной величины задержки по сравнению со случайным выбором до 80%.

3. Разработан алгоритм для реализации предложенного метода динамического программирования, отличающийся от известных предположением о том, что близкий к оптимальному набор маршрутов может быть получен путем последовательного выбора тех маршрутов, которые на момент выбора вносят наибольший вклад в уменьшение задержки доставки (целевой функции), что позволяет уменьшить число рассматриваемых вариантов до  $k(2n-k+1)/2$ , где  $n$  – число доступных маршрутов, а  $k$  – число выбранных маршрутов.

4. Предложен метод оценки коэффициента готовности сверх надежной сети с ультрамальыми задержками uRLC, отличающийся от известных выражением коэффициента готовности через значение постоянной уравнения Эрдеша-Ренъи, что позволяет повысить точность оценки по сравнению с оценкой на графе в среднем на 20%.

*К практическим научным результатам* следует отнести в первую очередь создание методики планирования гетерогенных сетей связи пятого и последующих поколений с учетом обеспечения требований по обеспечению характеристик надежности для сетей связи с ультрамальыми задержками.

Материалы диссертационного исследования в полном объеме отражены в публикациях автора и прошли апробацию на международных и всероссийских научных конференциях. Всего по теме диссертации опубликовано 6 работ, из них 3 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК Министерства высшего образования и науки Российской Федерации, 1 статья в рецензируемых изданиях, входящих в международные базы данных SCOPUS и WoS (Q2), 2 работы в журнале и сборнике докладов конференций, включенных в РИНЦ.

По автореферату имеются *следующие замечания*:

1. Из автореферата осталось неясным, что означает параметр  $\hat{\rho}_i^{SR}$  в выражении (6) на стр. 11.

2. Из автореферата осталось неясным, как на практике можно объяснить наличие минимума на рис. 3 на стр. 12, когда «при увеличении  $k$  до некоторой величины доминирует уменьшение потерь, однако дальнейший рост приводит к доминированию увеличения потерь в канале».

Однако отмеченные недостатки не являются принципиальными и не снижают ценности полученных автором результатов. Судя по автореферату, диссертация «Разработка и исследование моделей и методов обеспечения требований к характеристикам надежности для сетей связи с ультрамалыми задержками» является законченной научно-квалификационной работой, в которой присутствуют научная новизна и практическая ценность. Считаю, что работа соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемых к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Кашкаров Дмитрий Владимирович, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Заместитель  
генерального директора, к.т.н.

А.Б. Васильев

