

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Полуэктова Дмитрия Сергеевича
«Построение и анализ вероятностных моделей граничных
многопользовательских систем и разделения ресурсов беспроводных сетей»,
представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе Российского университета
дружбы народов на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика,
кибернетика

Актуальность темы диссертационной работы

В настоящее время наблюдается рост числа устройств и пользователей услуг мобильных сетей. Новые технологии сетей пятого поколения (5G) имеют фундаментальные преимущества, позволяющие поддерживать высокие скорости передачи данных, сверхплотное насыщение пользователей и предоставлять широкий спектр услуг. Последние данные, представленные ведущими участниками рынка, показывают, что число устройств, подключенных к глобальной сети, достигнет 29.3 млрд. штук к 2023 году.

Для беспроводных сетей основным ресурсом является радиочастотный спектр, который необходимо эффективно использовать. Принцип совместного использования спектра (Licensed Shared Access, LSA) позволяет операторам-владельцам предоставлять свои радиоресурсы в аренду на период, когда их не используют. Повысить эффективность использования спектра также возможно за счет применения трехмерной гетерогенной сетевой архитектуры, в которой в дополнение к наземным станциям используются БПЛА, аэростаты, спутники.

Другим вызовом для современных сетей является улучшение транспортной инфраструктуры и повышение качества услуг. Для этого применяются такие технологии, как программно-конфигурируемые сети (SDN), сетевые функции виртуализации (NFV) и граничные вычисления с

множественным доступом (МЕС). Все это позволяет обеспечивать большую автоматизацию и контроль сетевой структуры для динамической оптимизации сетей передачи данных.

Для решения таких задач может быть использован аппарат математической теории телетрафика. Через построение и анализ систем массового обслуживания можно проводить анализ гетерогенных беспроводных сетей. Это позволяет проводить анализ модели сети и управлять параметрами конфигурации инфраструктуры.

Ввиду вышеизложенного, считаю, что тема диссертационного исследования Полуэктова Дмитрия Сергеевича «Построение и анализ вероятностных моделей граничных многопользовательских систем и разделения ресурсов беспроводных сетей», является актуальной и соответствует специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

Характеристики содержания диссертационной работы

Диссертационная работа изложена на 101 странице и состоит из введения, трех глав, заключения, библиографии из 126 источников и списка сокращений. Включает в себя 31 рисунок и 6 таблиц.

Во **введении** автором обоснована актуальность темы исследования, определены цели и задачи исследования, а также представлена научная новизна, отражены теоретическая и практическая значимость работы.

В **первой главе** представлен исчерпывающий обзор технологий и методов построения и анализа моделей сетевых ресурсов. Приводится достаточно подробный для темы данного исследования обзор отечественных и зарубежных научно-технических источников по тематике исследования. Рассмотрена модель для оценки качества восприятия услуг для беспроводных сетей на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Вторая глава посвящена построению и анализу модели в виде системы массового обслуживания (СМО) для анализа показателей

эффективности схем разделения спектра для совместного доступа к радиоресурсам беспроводной сети.

В **третьей главе** рассматривается построение и анализ математической модели в виде марковского процесса (МП) с пороговым управлением миграцией медиауслуг в сеть доступа оператора связи для размещения на граничных серверах. Для нахождения искомых характеристик системы произведено усечение модели до МП с поглощающими состояниями. Сформулирована и решена задача по максимизации времени функционирования граничных серверов в заданных ограничениях.

В **заключении** сформулированы достаточно подробно основные выводы по диссертационному исследованию.

Достоверность и новизна результатов диссертации

Диссертация содержит новые научные результаты, полученные для оптимизации и анализа некоторых частей телекоммуникационной сети. Транспортная программно-конфигурируемая сеть представлена, в отличие от известных моделей, в виде математической модели с учетом длительности хранения правил маршрутизации. Новизной для модели использования LSA является получение рекуррентного алгоритма для трехмерного марковского процесса. Отличительной особенностью является применение модели с пороговым управлением для миграции приложения на граничные облачные серверы. Для подтверждения достоверности полученных результатов в главах 2 и 3 диссертационного исследования представлены доказательства сформулированных утверждений. В главе 1 достоверность научных выводов подтверждается выбранными методами исследования, которые заключаются в применении апробированного математического аппарата теории массового обслуживания и марковских процессов, а также эмуляцией, приложенной к реальным системам.

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

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается математически корректными утверждениями, доказанными в рамках теории марковских случайных процессов, методов теории вероятностей, теории массового обслуживания, а также в рамках численного анализа на исходных данных близким к реальным. Результаты были своевременно и достаточно полно представлены на международных конференциях и опубликованы в рецензируемых журналах.

Ценность для науки и практики результатов работы

Результаты, полученные в диссертационной работе, имеют теоретическую и практическую ценность. Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в применении методов и моделей математического аппарата теории случайных процессов и теории массового обслуживания для анализа телекоммуникационных сетей. Практическим применением результатов может служить использование полученных методов и аналитических формул телекоммуникационными операторами при проектировании или оптимизации сетей и сервисов.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

Основные результаты изложены в 10 работах, в том числе: в 1 издании, рекомендованном ВАК РФ и списка ДАНК РУДН, в 7 изданиях, входящих в базы данных Scopus и WoS.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

Замечания по диссертационной работе

По работе имеются следующие замечания:

1. В диссертации следовало более четко определить объект и предмет исследования.
2. Хотелось бы увидеть сравнение численного анализа моделей, представленного в работе с имитационным моделированием или натурным экспериментом.
3. В разделе 2.1 диссертации при описании построения математической модели следовало представить схему модели СМО, которая облегчила бы понимание построенной системы.
4. В тексте диссертации встречаются опечатки, например, «полрога» на с. 8 диссертационной работы, и стилистические неточности, следовало дополнительно провести вычитку документа

Отмеченные недостатки не снижают научную ценность полученных в диссертационной работе результатов.

Заключение

Диссертационная работа Полуэктова Д.С. на тему «Построение и анализ вероятностных моделей граничных многопользовательских систем и разделения ресурсов беспроводных сетей» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальных задач, возникающих при проектировании и управлении телекоммуникационными сетями новых поколений.

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», утвержденного

Ученым советом РУДН протокол № 12 от 23.09.2019г., а ее автор, Полуэктов Дмитрий Сергеевич, заслуживает присуждение ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

«19» октября 2023 г.

Официальный оппонент

Степанов Сергей Николаевич

доктор технических наук (05.25.01 – Теоретические основы информатики, 05.12.14 – Сети, узлы связи и распределения информации), профессор

 Степанов С.Н.

Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8а
тел: +7 (495) 673-52-92, s.n.stepanov@mtuci.ru

Подпись Степанова С.Н. заверяю.

Учёный секретарь Учёного совета МТУСИ





Зотова Т.В.

«19» октября 2023 г.