

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Дараселии Анастасии Валерьевны «Модели и анализ показателей эффективности механизмов выгрузки трафика в гетерогенных беспроводных сетях», 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 телекоммуникационные компании разрабатывают и внедряют все больше новых мультимедийных услуг и приложений, требующих больших объемов ресурсов и скоростей передачи. В связи с растущими требованиями современные устройства и технологии работают в условиях перегрузки, и все чаще в инфокоммуникационных сетях рассматривается концепция выгрузки.

Одним из основных направлений реализации этой концепции является выгрузка мобильных вычислений в систему туманно-облачных вычислений. Благодаря размещению вычислительных узлов на границе сети, туманные вычисления являются эффективным решением с точки зрения времени отклика, однако они не обладают ресурсами облачных дата-центров, поэтому легко перегружаются. В связи с этим возникает необходимость разработки моделей выгрузки мобильных вычислений в туманно-облачную инфраструктуру для оценки времени отклика. Второе направление – выгрузка трафика из лицензированного спектра частот в нелицензированный для увеличения емкости сети. Данная технология выгрузки была недавно включена в стандарты пятого поколения консорциумом 3GPP, в связи с этим актуальны разработка и анализ моделей с использованием данной технологии.

Для решения таких задач может быть использован аппарат математической теории телетрафика. Через построение и анализ моделей

массового обслуживания можно проводить анализ доли мобильных вычислений и трафика для выгрузки в гетерогенные беспроводные сети. Это позволяет проводить анализ модели сети и управлять параметрами конфигурации инфраструктуры.

Ввиду вышеизложенного, считаю, что тема диссертационного исследования Дараселии Анастасии Валерьевны «Модели и анализ показателей эффективности механизмов выгрузки трафика в гетерогенных беспроводных сетях», является актуальной и соответствует специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

### **Характеристики содержания диссертационной работы**

Диссертация Дараселии А. В. включает в себя введение, три главы, заключение, список обозначений, список сокращений и библиографию.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулированы цели исследования, приведены основные положения работы.

В **первой главе** рассмотрена базовая математическая модель выгрузки мобильных задач в распределенную вычислительную среду туманно-облачных вычислений на основе порогового значения объема вычислений. Построена базовая математическая модель выгрузки трафика на нелицензированный спектр. Описание проведено в терминах систем массового обслуживания. Определены задачи диссертационной работы.

Во **второй главе** проводится анализ расширенной модели выгрузки мобильных вычислений на основе пороговых значений объема вычислений и объема данных. Проведен анализ распределения времени отклика в условиях выгрузки, проанализированы оптимальные пороги критерия выгрузки.

В **третьей главе** проводится анализ расширенной модели выгрузки трафика в сетях пятого поколения на нелицензированный спектр с использованием ресурсных систем массового обслуживания и цепи Маркова. Сравняются три механизма выгрузки, получены вероятностно-временные

характеристики, как вероятность того, что скорость, достижимая на устройстве, ниже требуемого порога, вероятность успешной передачи данных устройством и вероятность потери заявок. Расчет характеристик проводится с помощью рекуррентного сверточного алгоритма.

В **заключении** определены основные результаты диссертационного исследования.

### **Достоверность и новизна результатов диссертации**

Достоверность теоретических результатов, полученных в главах 2 и 3 диссертационного исследования, обоснована приведенными доказательствами утверждений, при этом достоверность численных расчетов подтверждается при анализе частных случаев исследованных моделей и методов, решения для которых известны. 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 численными экспериментами, показавшими соответствие результатов расчетов по аналитическим формулам приближенного и точного подходов с результатами имитационного моделирования.

Диссертация содержит новые научные результаты, изложенные в каждой из трех глав. Построенная в первой главе модель выгрузки мобильных вычислений в систему туманно облачных вычислений, отличается тем, что была учтена неоднородность задач по объему необходимых вычислений. Построенная во второй главе расширенная модель учитывает как и объем вычислений, так и объём данных, необходимый для передачи в случае выгрузки с мобильного устройства. Построенная в третьей главе модель выгрузки трафика из лицензированного спектра сети пятого поколения на нелицензированный позволяет определить долю выгружаемого трафика и рассчитывать распределение скорости передачи.

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

Обоснованность полученных результатов подтверждается строгими математическими доказательствами, использующими методы теории вероятностей, теории массового обслуживания и теории марковских процессов. При анализе построенных моделей использованы апробированные математические методы исследования и известные пакеты прикладных программ, в том числе, для языка программирования Python, а также среда Wolfram Mathematica для решения математических задач.

## **Ценность для науки и практики результатов работы**

Результаты, полученные в диссертационной работе, имеют теоретическую и практическую ценность. Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в применении теории массового обслуживания при создании математического аппарата для анализа вероятностно-временных характеристик, таких как вероятность потери и вероятность выгрузки заявок, распределение требований к ресурсам выгружаемых заявок, вероятность успешной передачи, вероятность снижения скорости передачи ниже требуемого порога; преобразование Лапласа-Стилтьеса времени отклика и вероятность того, что время отклика меньше порогового значения времени для оптимальных пороговых значений объема данных и объема вычислений. Практическая значимость состоит в том, что разработанные алгоритмы расчета вероятностно-временных характеристик могут применяться мобильными операторами при планировании гетерогенных беспроводных сетей для предоставления требуемого качества услуг.

**Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати**

Основные результаты изложены в 12 работах, в том числе: в 2 изданиях, рекомендованном ВАК РФ и списка ДАНК РУДН, в 8 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 главе 1 раздела 1.3 упомянуты параметры внешних блокаторов, вычисление которых представлено в параметризации системы только в третьей главе.
2. В главах 2 и 3 часть утверждений являются полноценными теоремами, что целесообразно было бы отразить в работе.
3. Имеется значительное число опечаток, некоторые из которых затрудняют понимание соответствующего содержания. В автореферате термины «преобразование Лапласа-Стилтьеса» и «ПЛС» используются независимо друг от друга, что также затрудняет восприятие.
4. В работе решаются задачи, связанные с оптимизацией, но соответствующее теоретическое обоснование отсутствует.

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

### **Заключение**

Диссертационная работа Дараселии А.В. на тему «Модели и анализ показателей эффективности механизмов выгрузки трафика в гетерогенных беспроводных сетях» является законченной научно-квалификационной

работой, содержащей новое решение актуальной задачи по управлению трафиком и ресурсами базовых станций в беспроводных сетях.

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, Дараселия Анастасия Валерьевна, заслуживает присуждение ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

«25» января 2023 г.

Официальный оппонент

Зейфман Александр Израилевич,

доктор физико-математических наук (01.01.11 – системный анализ и автоматическое управление), профессор



Зейфман А.И.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодский государственный университет»

160000 г. Вологда, ул. Ленина, д.15

тел: +7 (8172)72-48-59, kanz@vogu35.ru

Подпись Зейфмана А.И. заверяю

Ученый секретарь Ученого Совета.

В.Н. Маковеев

«25» января 2023 г.

