

## ОТЗЫВ

НА АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ АЛЗАГИР АББАС АЛИ ХАСАН  
НА ТЕМУ: «ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ТРАФИКА ДЛЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ  
ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ЕГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА»,  
ПРЕДСТАВЛЕННУЮ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 2.2.15 – СИСТЕМЫ, СЕТИ И  
УСТРОЙСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

### **Актуальность темы диссертации**

Сегодня в составе гетерогенных сетей связи находятся сетевые сегменты, построенные с использованием совершенно разных технологий. Это и сегменты программно-конфигурируемых сетей SDN (Software Defined Networking) в рамках сетевой инфраструктуры провайдеров, и сегменты Интернета вещей, формирующие сети доступа и объединяющие многочисленные «умные устройства», датчики и актуаторы, а также многочисленные сегменты традиционных IP-сетей и многое другое.

В рамках формирования сетей пятого поколения (5G/IMT-2020) на практике стали активно использоваться технологии граничных вычислений MEC (Mobile Edge Computing) и беспилотные летательные аппараты UAV (Unmanned Aerial Vehicles), а также Тактильный Интернет TI (Tactile Internet) и технологии Дополненной реальности AR (Augmented Reality).

В этом контексте особенно важной становится задача взаимодействия различных сетевых сегментов, а также вопросы передачи генерируемого сетевого трафика с установленными параметрами качества обслуживания.

Данная диссертационная работа посвящена исследованию моделей трафика для сетей связи пятого поколения и разработке методов его обслуживания с использованием БПЛА. Поэтому тема и результаты диссертационного исследования представляются весьма актуальными.

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

Достоверность полученных автором научных и практических результатов диссертационной работы подтверждается корректным использованием математического аппарата, имитационного моделирования и натуральных экспериментов, а также широким обсуждением полученных результатов на международных и отечественных конференциях и семинарах.

Основные результаты диссертации, обладающие научной новизной:

1. Предложена модель, в которой к сетевому трафику Интернета Вещей и Тактильного Интернета добавляется также трафик дополненной реальности. При этом было установлено, что вероятность потерь пакетов для трафика AR больше, чем для трафика IoT, и меньше, чем для трафика TI.

2. Разработан метод построения сети с использованием БПЛА, в котором элементы сетей SDN полностью реализованы на БПЛА. При этом уровень передачи данных реализован на группах БПЛА, объединенных в кластеры и выполняющих функции коммутаторов сети SDN, а уровень управления реализован на отдельных привязных БПЛА, выполняющих функции контроллеров сети SDN. При этом каждый из контроллеров взаимодействует с головным узлом своего кластера БПЛА. Предусмотрено также взаимодействие контроллеров между собой.

3. Разработан алгоритм кластеризации для группы БПЛА на основе метода k-средних, позволяющий найти рациональные координаты для размещения контроллеров, и отличающиеся от исходных на величину до 100 м в квадрате 1 км на 1 км.
  4. Разработан метод выгрузки трафика с наземной сети на БПЛА, отличающийся от известных тем, что выгрузка может быть осуществлена как непосредственно на БПЛА, так и на БПЛА со специальным ретранслятором для передачи данных на граничный и/или облачный сервер.
  5. Разработан алгоритм выгрузки сетевого трафика для предложенного метода, основанный на алгоритме динамического программирования, использующего расстояние Хэмминга в качестве критерия для завершения своей работы. Определены значения задержки для выбора размера группы БПЛА, при котором задержка для выгрузки трафика с наземной сети на группу БПЛА будет меньше, чем в случае использования БПЛА как ретранслятора для граничного/облачного сервера.
- Результаты диссертации могут получить большое практическое применение, в том числе в проектных организациях и у операторов связи для планирования, разработки, внедрения и предоставления новых перспективных услуг связи в сетях пятого и последующих поколений.

### Замечания по автореферату

По автореферату имеются следующие замечания:

1. **В описании третьей главы автореферата** указано, что «Потоки трафика TI и AR обладают свойствами самоподобных потоков», однако, обоснования не представлено.
2. **В описании четвертой главы автореферата** на рисунке 12 показана задержка в зависимости от вычислительных возможностей. Далее по тексту используется также термин «вычислительная мощность», однако непонятно, что именно понимается под этими параметрами и являются ли они синонимами.

### Выводы и заключение

Отмеченные недостатки не влияют на результаты диссертации и ее общую положительную оценку. Судя по автореферату, диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор Алзагир Аббас Али Хасан заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – системы, сети и устройства телекоммуникаций.

к.т.н., PhD, профессор  
департамента бизнес-информатики  
Высшая школа бизнеса  
НИУ ВШЭ



М.М. Комаров

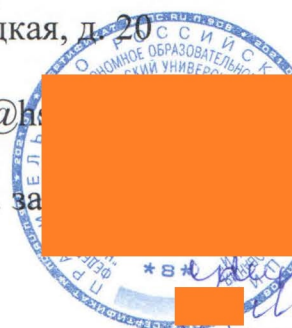
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

Тел. (495) 771-32-32

<http://www.hse.ru/> e-mail: [hse@hse.ru](mailto:hse@hse.ru)

Подпись руки Комарова М.М. за



*Иванов А.С.*  
*Иванов А.С.*  
*02.06.2023*

02.06.2023