

## Отзыв

### официального оппонента на диссертацию

Кучерявого Евгения Андреевича «Разработка и исследование комплекса моделей и методов распределения ресурсов в беспроводных гетерогенных сетях связи», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

#### **Актуальность темы диссертации.**

Тематика диссертационной работы Кучерявого Евгения Андреевича «Разработка и исследование комплекса моделей и методов распределения ресурсов в беспроводных гетерогенных сетях связи» посвящена одной из сложнейших научных проблем, возникших в последние несколько лет в области сетей связи. Распределение ресурсов в беспроводных гетерогенных сетях связи является ключевой теоретической задачей, имеющей вполне понятную практическую ценность, для сетей связи четвертого (4G) и пятого (5G) поколений. Именно в этих сетях возникает и сама гетерогенность, подразумевающая, в первую очередь, комплексное использование разнообразных радиотехнологий для обеспечения требуемого уровня качества обслуживания и качества восприятия пользователей. Действительно, анализируя территорию зоны обслуживания базовой станцией сетей 4G или 5G можно обнаружить в ней беспроводные сети широкополосного доступа на базе стандартов IEEE 802.11, беспроводные сенсорные сети на базе стандартов IEEE 802.15.4, сети автомобильного транспорта, медицинские сети и т.д. Эта присущая современным сетям гетерогенность сетей доступа требует новых концептуальных и методологических подходов, разработки моделей и методов оптимизации распределения доступных ресурсов, новых технологий распределения ресурсов и строгого обоснования их использования и взаимодействия в гетерогенных сетях. Все эти задачи и взаимосвязанные с ними как раз и

Вход. № 154/18  
«25» 10 2018 г.  
подпись

решаются в диссертационной работе Евгения Андреевича Кучерявого, что позволяет считать тему диссертации несомненно актуальной.

**Новизна научных положений, выводов и рекомендаций. Теоретическая и практическая ценность диссертационной работы.**

Диссертационная работа изложена на 416 страницах и состоит из введения, шести разделов, заключения, списка литературы из 318 наименований и приложения, в котором приведены акты внедрения.

Научная новизна диссертационной работы Кучерявого Евгения Андреевича состоит, прежде всего, в разработке новой методологии исследования распределения ресурсов в гетерогенных сетях связи, отличающейся от известных комплексным анализом и синтезом различных технологий радиодоступа. Именно такой подход к сетям связи четвертого и пятого поколений позволяет автору предложить новый критерий оптимизации, который обеспечивает справедливое распределение ресурсов для гетерогенных сетей с учетом баланса между потоками трафика с разными требованиями к пропускной способности на базе модифицированного критерия  $\max\text{-min}$ , основанного на доступной полосе пропускания. Целевая функция при этом дополняется весовыми коэффициентами, рассчитываемыми на основе мгновенных значений спектральной эффективности.

Используя метрику справедливого распределения ресурсов и дополняя ее и дополняя ее общей производительностью системы, автору удается разработать новый метод управления гетерогенной сетью облачной системы радиодоступа с использованием кооперативного управления. Весьма изящный подход к разработке нового метода позволяет более чем в 2 раза увеличить общую производительность системы радиодоступа. Результативно используя облачные технологии и применив их к новым взаимодействиям машина-машина M2M, автор разработал модель и метод облачной

клиентской ретрансляции, что также дает выигрыш в разы по общей производительности системы.

Разработка и исследование моделей и методов для устройств M2M занимает существенное место в задачах диссертационной работы, что вполне оправданно с учетом принципиального изменения клиентской базы сетей связи в условиях повсеместного внедрения концепции Интернета Вещей. Автор предлагает модель и метод доставки данных при использовании современного протокола NB-IoT и клиентской ретрансляции, а также модель и метод доступа к ресурсам сети, учитывающие особенности передачи данных малого объема. При этом использование комплексной методологии позволяет не только снизить энергопотребление в системе, но и задержки пакетов, что принципиально важно при создании сетей с ультра малыми задержками.

Поскольку энергопотребление является одной из важнейших проблем при построении сетей сверх высокой плотности, а именно такими являются будущие сети пятого поколения, автор в своем комплексном исследовании не мог обойти вниманием и эти задачи. Здесь он разрабатывает модель эффективной мощности передачи и метод управления мощностью мобильного устройства в условиях гетерогенной сети с двумя и более радио технологиями, что позволяет максимизировать энергоэффективность устройства при обеспечении минимально требуемой скорости передачи.

Продолжая успешно применять разработанную методологию комплексного анализа и синтеза различных технологий радиодоступа, автор синтезирует новую архитектуру для беспроводных гетерогенных сетей связи, дополняя существующие шлюзом входа в сеть доступа. Такое архитектурное решение позволяет значительно сократить сквозные задержки на сети, что помимо непосредственного положительного эффекта для сетей четвертого поколения, даст возможность в сетях связи пятого поколения реализовать услуги сетей с ультра малыми задержками.

В рамках комплексного применения новой технологии автор разрабатывает модели и методы выгрузки трафика, которые в отличие от существующих используют технологию взаимодействия устройство-устройство D2D с сетевой поддержкой и технологию WiFi-Direct для выгрузки трафика. При этом удается достичь удвоения пропускной способности соты и повышение энергоэффективности до 6 раз.

Все результаты, полученные автором, новы и имеют высокую теоретическую ценность. Фактически создана новая теория для анализа и синтеза беспроводных сетей связи. Автор вносит тем самым существенный вклад в теорию массового обслуживания и теорию телетрафика. Считаю, что по результатам диссертационной работы автору следует издать книгу с целью распространения предложенной им методологии и полученных результатов и использования их другими исследователями.

Практическая ценность диссертационной работы состоит в разработке научно-обоснованных рекомендаций по созданию и планированию беспроводных гетерогенных сетей связи, а также в применении результатов диссертации проектными, операторскими и образовательными организациями, что подтверждается актами внедрения, находящимися в приложении к диссертационной работе. Самостоятельную практическую ценность имеет разработанная под руководством автора система имитационного моделирования гетерогенных сетей WINTERsim.

Таким образом, все научные положения, результаты и выводы, полученные в диссертации Кучерявого Евгения Андреевича «Разработка и исследование комплекса моделей и методов распределения ресурсов в беспроводных гетерогенных сетях связи», обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и результатов, сформулированных в диссертационной работе.**

Обоснованность научных положений, выводов и результатов, сформулированных в диссертации, подтверждаются корректным использованием математического аппарата, имитационным моделированием, натурными испытаниями на модельных сетях, большим числом опубликованных работ и обсуждением результатов диссертации на множестве различных Российских и Международных научно-технических конференций.

### **Замечания по диссертационной работе.**

По диссертации имеются следующие замечания:

1. При разработке моделей и методов для гетерогенных облачных сетей радиодоступа (H-CRAN) следовало бы рассмотреть и возможность размещения облаков непосредственно на базовых станциях и их прямой взаимосвязи (рис.1.9, стр.62).
2. Стр.148. При использовании умных счетчиков в системах M2M основную роль, скорее всего, будут играть технологии LPWAN, а не IEEE 802.16 и LTE.
3. Разработанный метод выгрузки трафика в гетерогенных сетях с использованием технологий D2D и WiFi Direct позволяет добиться существенного, в разы, повышения пропускной способности сети и энергоэффективности. Однако в тексте работы ничего не сказано (стр.225-228) о влиянии предложенного метода на длительность задержки.
4. Есть некоторые неточности в оформлении работы. Например, на стр.265 и на стр.270 (рис.5.4, рис.5.5, рис.5.6).

### **Выводы.**

Диссертационная работа Кучерявого Евгения Андреевича «Разработка и исследование комплекса моделей и методов распределения ресурсов в беспроводных гетерогенных сетях связи» является законченной научно-

квалификационной работой. Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.12.13 — Системы, сети и устройства телекоммуникаций: 3, 5, 11, 12, 14.

В диссертации решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение для отрасли связи, а именно: разработан комплекс моделей и методов распределения ресурсов в гетерогенных беспроводных сетях связи, что позволяет повысить эффективность внедрения сетей связи четвертого и пятого поколений, являющихся инфраструктурной основой для построения цифровой экономики. Диссертация отвечает критериям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в редакции от 28.08.2017). Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертационной работы.

Несмотря на отмеченные замечания, диссертационная работа “ Разработка и исследование комплекса моделей и методов распределения ресурсов в беспроводных гетерогенных сетях связи” оценивается положительно, а ее автор – Кучерявый Евгений Андреевич заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

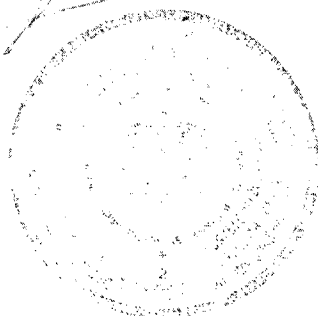
Профессор кафедры радиосвязи и вещания

СПбГУТ им. проф.М.А.Бонч-Бруевича

д.т.н., профессор,

заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации

Мстислав Аркадьевич Сиверс



М.А. Сиверс  
ЗАКРЫТО  
Научный сотрудник научно-кадрового  
управления СПбГУТ

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по спецтеematике защищена Мстиславом Аркадьевичем Сиверсом в 1982 году по специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы телевидения.

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования “Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича”, 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д.22, корп.1  
Тел: (812) 305-12-40  
E-mail: vorobievov@bk.ru