

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 55.2.004.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
МИНИСТЕРСТВА ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ  
КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 08 декабря 2021 г. № 11

О присуждении Тонких Евгению Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование методов планирования сетей связи высокой плотности» по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите 22 сентября 2021 года, протокол № 7 диссертационным советом 55.2.004.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 191186, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 61, приказ № 258/нк от 27 марта 2019 года.

Соискатель Тонких Евгений Викторович, 04.10.1971 года рождения, работает заместителем начальника научно-исследовательского отдела в Федеральном государственном унитарном предприятии "Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева", Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

В 1996 году соискатель окончил Военно-воздушную инженерную академию имени Ленина и Октябрьской Революции Краснознаменную академию имени профессора Н.Е. Жуковского. С 01.06.2021 г. по настоящее время прикреплен к Федеральному государственному бюджетного образовательного учреждения

высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича" для подготовки кандидатской диссертации.

Диссертация выполнена на кафедре сетей связи и передачи данных Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича", Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, Кучерявый Андрей Евгеньевич, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича", кафедра сетей связи и передачи данных, заведующий кафедрой.

Оппоненты: 1. Каргашевский Вячеслав Григорьевич, доктор технических наук, профессор, основное место работы: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, кафедра мультисервисных сетей и информационной безопасности, заведующий кафедрой; 2. Степанов Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, основное место работы: Московский технический университет связи и информатики, кафедра сети связи и системы коммутации, доцент кафедры, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное образовательное бюджетное учреждение науки "Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук", г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Вишневым Владимиром Мироновичем, д-ром техн. наук, проф., заведующим лабораторией № 69 "Управление сетевыми системами", утвержденном Новиковым Дмитрием Александровичем, д-ром техн. наук, проф., чл.-корр. РАН, директором, указала, что диссертация является научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача разработки методов планирования сетей связи высокой плотности, имеющая значение для отрасли связи. Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической

значимостью. Результаты широко апробированы на значимых российских и зарубежных конференциях, а также достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Название работы полностью отражает её содержание. Диссертация соответствует пунктам 3, 11 и 14 паспорта специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. На основании изложенного считаем, что данная диссертация соответствует критериям, установленным "Положением о присуждении ученых степеней", утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 (в ред. 11.09.2021), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций, а её автор, Тонких Евгений Викторович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 8, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, – 4, в том числе 4 по искомой специальности, а также: 3 работы в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования; 1 статья в других научных журналах, сборниках научных статей, трудов и материалах конференций. Из них 1 работа опубликована соискателем без соавторства. Общий объём авторского вклада в работы (без результатов интеллектуальной собственности) составляет 4,3 печ.л. из общего количества 7,3 печ.л. Диссертация не содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Тонких Е.В. Планирование структуры сети интернета вещей с использованием фракталов / Е.В. Тонких, А.И. Парамонов, А.Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2021. – №4. – С.55-62.

2. Тонких Е.В. Анализ рекомендаций МСЭ-T и МСЭ-R в области сетей связи пятого поколения / Е.В. Тонких // Труды НИИР. – 2021. – № 3. – С. 1-5.

3. Тонких Е.В. Свойства самоподобия сетевой структуры и ее моделирование для сети интернета вещей высокой плотности / А.И. Парамонов, А.Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2020. – № 8. – С. 18-24.

4. Тонких Е.В. Анализ беспроводной сети интернета вещей высокой плотности / А.И. Парамонов, А.Е. Кучерявый// Электросвязь. – 2020. – № 1. – С. 44-48.

Публикации в изданиях, индексируемых в МБЦ:

5. Tonkikh E. Beyond 5G network architecture study: Fractal properties of access network / Tonkikh E., Paramonov A., Muthanna A., Koucheryavy A., Aboulola O.I., Alharbey R., Elgendy I.A. // Applied Sciences (Switzerland), 2020, 10(20), pp. 1–18.

6. Tonkikh E. High Density Internet of Things Network Analysis / Tonkikh E., Paramonov A., Koucheryavy A., Tatarnikova T.M. // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. NEW2AN 2020, ruSMART 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12525. Springer, Cham.

7. Tonkikh E.V. Possible applications of sixth generation communication networks / Tonkikh E.V., Burobina K.D., Shurakhov A.A. // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. 2020. pp. 9078581, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9078581>

Публикации в других изданиях:

8. Тонких Е.В. Анализ характеристик плотности устройств в сетях связи пятого поколения / Информационные технологии и телекоммуникации. – 2020. – Т. 8. – № 1. – С. 22-27.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: официального оппонента Карташевского В.Г.; официального оппонента Степанова М.С.; ведущей организации ИПУ РАН; Самойлова А.Г., д-ра техн. наук, проф., заместителя директора по научной работе Института информационных технологий и радиоэлектроники Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых; Самуйлова К.Е., д.т.н., профессора, директора Института прикладной математики и телекоммуникаций, заведующего кафедрой прикладной информатики и теории

вероятностей Российского университета дружбы народов; Молчанова Д.А., д-ра техн. наук, PhD of Technology, доц., старшего научного сотрудника Университета г. Тампере; Васильева А.Б., канд. техн. наук, заместителя генерального директора ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ»; Татарниковой Т.М., д-ра техн. наук, проф., профессора кафедры «Информационные системы» Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина); Канаева А.К., д.т.н., проф., профессора и Логин Э.В., к.т.н., доцента кафедры "Электрическая связь" Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I; Никульского И.Е., д.т.н., с.н.с., главного специалиста, заместителя главного конструктора ООО ""ЦНПО "Ленинец"; Колбанева М.О., д.т.н., проф., профессора кафедры информационной безопасности Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" В.И. Ульянова (Ленина).

Все отзывы положительные, но имеются следующие критические замечания. Стр. 69. Поскольку рассматриваются вопросы надежности, следовало бы привести требования, например, по коэффициенту готовности для сетей связи высокой плотности. Стр. 74. Требуются дополнительные обоснования по разделению на области помех сигналов. Стр. 89-91. При исследовании агрегированных структур остается неясным, каким образом следует выбирать площадь квадратной ячейки. Из автореферата на стр. 13 неясно какой метод был использован при расчете параметра Хёрста? В автореферате на рис 4 представлена модель структуры на основе фрагмента кривой Гильберта. Непонятно почему в модели выбрана сторона квадрата равной 150 м и влияет ли как-то размер квадрата на точность планирования. Модель затухания, выбранная автором, описывает распространение сигнала вне помещений, в то время как во многих случаях высокоплотные сети будут размещаться внутри помещений. Автор не упоминает в автореферате как при этом изменятся полученные результаты. Автор не дает пояснений почему именно он выбрал кривую Гильберта, а, например, не кривые Пеано (стр. 11 автореферата). На стр. 7 автореферата не указано, что P.1411 является рекомендацией МСЭ-Т. В формуле (15) автореферата присутствует

параметр  $g$ , в то время как в дальнейшем модификации формулы (15) приводятся на основании параметра  $q$ , связь которого с  $g$  в автореферате не определена. Индикаторная функция, входящая в формулу (4) на стр. 8, несмотря на широкое распространение при аналитическом выводе результатов, является математической абстракцией, дающей оценку исключительно начального приближения допустимого уровня внутрисистемных помех. Из автореферата осталось неясным, было ли данное ограничение впоследствии снято при имитационном моделировании? Из представленных на рисунке 3 автореферата фрагмента плана города и фрагмента кривой Гильберта, а также модели структуры на основе фрагмента кривой Гильберта на рис.4 осталось неясно, в какой программной среде производилось имитационное моделирование. На стр.3 и 19 автор вероятно описался, предлагая располагать 1 млн устройств на один  $1 \text{ м}^2$ , а не на  $1 \text{ км}^2$ . Даже при одном устройстве на  $1 \text{ м}^2$  на практике возникают зачастую не решаемые задачи по электромагнитной совместимости. Почему на рис. 3 приведен фрагмент города с авеню и стрит, как в Нью-Йорке, ведь российские города как правило имеют прямоугольную, а более сложную застройку. Из автореферата неясно, проводился ли автором анализ других фракталов, которыми можно было бы описать фрагменты карты города. При рассмотрении выражений (16)-(18) явно не указано, что такое « $q$ ». Это несколько усложняет понимание полученных выражений. В неявной форме сформулирована научная задача, что затрудняет понимание содержания автореферата.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются ведущими учеными в области сетей и систем связи, а ведущая организация – широко известна у нас в стране и за рубежом своими работами в области систем и сетей связи Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской Академии наук. Ведущая организация имеет существенные достижения в области сетей и систем связи пятого и последующих поколений. Отзыв сформирован в лаборатории № 69 "Управление сетевыми системами" и подписан заведующим лабораторией д.т.н., профессором В.М. Вишневым и утвержден директором ИПУ РАН членом-корреспондентом

РАН, д.т.н., профессором Д.А. Новиковым. Д.т.н., профессор В.Г. Карташевский работает в университете ПГУТИ, имеет значимые работы в области современных сетей и систем связи, является авторитетным ученым, в связи с чем достаточно часто приглашается оппонентом по новым направлениям исследований в области специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций. К.т.н. М.С. Степанов работает в МТУСИ и имеет хорошо известные научные труды в области теории телетрафика и планирования сетей связи.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработаны** метод планирования сети связи высокой плотности на основе фрактальной кривой Гильберта, позволяющий с достаточной для практики степенью точности учесть неоднородность пространства окружения планируемой сети и методика планирования сети связи высокой плотности на основе процедуры выбора фрактальной фигуры для планирования и проектирования в условиях неоднородного пространства окружения, базирующаяся на близости параметров фрактальной размерности, модифицированной информационной размерности и доли площади, занимаемой в площади пространства окружения сети иными элементами этого пространства; **предложено** использовать фрактальные фигуры для планирования сетей связи высокой плотности; **доказан** метод планирования сети с использованием фрактальной кривой Гильберта, учитывающий неоднородную структуру пространства окружения сети, требует более, чем в два раза меньшее число транзитов при маршрутизации сообщений по сравнению с методом планирования сети, предполагающим однородную структуру пространства окружения; **введено** использование выбора фрактальной фигуры для планирования и проектирования сетей связи в условиях неоднородного пространства окружения.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: доказано** планирование сетей связи высокой плотности с учетом самоподобных характеристик пространства окружения сети и использовании геометрических фракталов для этой цели позволяет уменьшить число транзитных участков при маршрутизации сообщений более, чем в два раза по сравнению с планированием

сети без учета неоднородности пространства окружения сети; **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы теории телетрафика, теории фракталов и имитационного моделирования; **изложена** идея использования фрактальных фигур для планирования сетей связи высокой плотности; **раскрыты** особенности построения и функционирования сетей связи высокой плотности; **изучены** связи неоднородности пространства окружения сети связи высокой плотности и методики ее планирования; **проведена модернизация** существующих методик планирования сетей связи.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены** в ФГУП НИИР при выполнении государственных контрактов по научно-техническому и методическому обеспечению выполнения Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации функций Администрации связи Российской Федерации в Секторе стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи в работах по разработке стандартов для сетей ИМТ-2020, в ПАО "ГИПРОСВЯЗЬ" "Методика планирования сети связи высокой плотности на основе использования фрактальных фигур", в СПбГУТ при чтении лекций и проведении практических занятий по курсам "Интернет Вещей и самоорганизующиеся сети" и "Современные проблемы науки в области инфокоммуникаций"; **определены** два метода планирования сетей связи высокой плотности при внедрении сетей связи пятого и последующих поколений; **создана** методика планирования сети связи, отличающаяся от известных тем, что введена процедура выбора фрактальной фигуры для планирования и проектирования высокоплотной сети в условиях неоднородного пространства окружения, основанная на близости параметров фрактальной размерности, модифицированной информационной размерности и доли площади, занимаемой в площади пространства окружения сети иными элементами этого пространства. Методика реализована в виде алгоритма выбора фрактальной фигуры; **представлены** различные фрактальные фигуры для описания пространства окружения высокоплотной сети, в том числе салфетки Серпинского,



ковер Серпинского и кривая Гильберта. Для каждой из приведенных фрактальных фигур получены оценки фрактальной размерности методом Миньковского.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** для экспериментальных работ имитационное моделирование выполнялось на базе пакета Mathcad; теория построена на известных методах теории телетрафика и теории фракталов; идея базируется на самоподобных свойствах пространства окружения высокоплотной сети; использованы сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике; установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике; использованы современные методики сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в самостоятельном получении всех основных результатов диссертационной работы.

В ходе защиты диссертации были высказано критическое замечание:

Есть рекомендация МСЭ. Причем формула справедлива только для оптической видимости, когда на пути распространения волны нет никаких преград. А если есть преграды? Там появляются еще всякие дополнительные части формулы.

Заданы вопросы:

1. Есть классический подход, а есть то, что Вы предложили. Чем Ваш подход лучше классического, где приходится рассчитывать, начиная с уравнения Максвелла о неоднородных поверхностях? Какие-то модели строить, рассчитывать напряженность поля? Вы говорите: «Все это не нужно». Я таким образом строю при помощи фрактальных фигур и что получаю в результате? Более грубую модель, более быструю, более точную, что мы хотим сделать, что мы хотим получить?

2. Интересен метод из второй главы работы, где показан вид функции распределения для средней длительности маршрута. Это имеет вид бэтараспределение. Скажите, успели ли Вы посмотреть, как связаны параметры бэтараспределения с параметрами модели, с толщиной кривой Гильберта, которая

соответствует ширине здания фактически? Или с долей площади территории, которая была занята? Или пока такой аналитической зависимости не удалось получить?

Соискатель Тонких Е.В. в ходе заседания ответил на задаваемые ему вопросы и привел собственную аргументацию.

По первому вопросу. В данном случае, более быструю, учитывая, какой у нас в будущем будет объем количества устройств. Просто просчитать классическим методом при нынешнем уровне компьютеров возможно, вопрос временных затрат и трудозатрат. И насколько это действительно будет объективно ценно в практическом плане, что мы потратим достаточно существенные ресурсы. Как только меняется, например, промышленная зона нужно опять строить и разворачивать новую сеть. А здесь для планирования можно обеспечить более быстрый, более гибкий подход.

По второму вопросу. Во-первых, такую задачу здесь не ставили. На слайде показано сравнение с однородными структурами окружения, потому что в случае неоднородных структур могут быть некие изолированные области и соответственно больше оценивали влияние на длину маршрута с этих позиций, что обеспечивали полную связность такими техническими методами, поставив какие-то дополнительные маршрутизаторы, обеспечив в случае перекрытия, ретрансляторы в теневых зонах или физически обеспечив связь двух сегментов, но глубже исследований не было потому что было интересно посмотреть именно в связке, что однородная структура – неоднородная структура и насколько она отличается в случае наличия полных связей либо определенной изолированности.

Согласился с замечанием и привел собственную аргументацию, что данные параметры конкретны, потому что они были предложены для вариантов размещения в городской застройке, в высокой застройке или низкой застройке для пригорода. Этот вариант максимально охватывающий наши типовые места размещения.

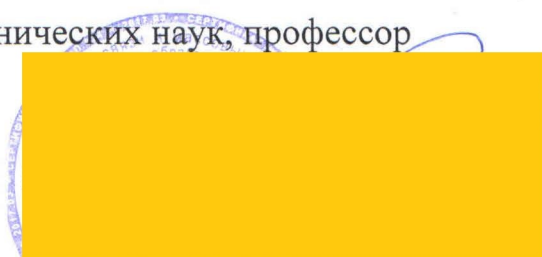
Диссертационный совет установил, что диссертация «Разработка и исследование методов планирования сетей связи высокой плотности» является

законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также пунктам 3, 11 и 14 паспорта научной специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

На заседании 08 декабря 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Тонких Евгению Викторовичу ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи, имеющей значение для отрасли цифрового развития и связи, а именно: определение численных характеристик влияния сетей связи с ультра малыми задержками на цифровой разрыв между регионами Российской Федерации и разработка методов формирования цифровых кластеров в условиях внедрения таких сетей.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



Гоголь Александр Александрович

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор технических наук, доцент



Маколкина Мария Александровна

10 декабря 2021 года