

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ЮФУ801.02.07,

созданного на базе Института радиотехнических систем и управления
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Южный федеральный университет»,
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

*аттестационное дело № _____,
решение диссертационного совета
от 15 февраля 2024 г. № 15*

О присуждении Махмуду Хуссейну Ахмеду Махмуду, гражданину Ирака, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Лазерная спутниковая система передачи радиосигналов на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией в условиях атмосферной турбулентности» по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения принята к защите 23 ноября 2023 г. (протокол заседания № 10) диссертационным советом ЮФУ801.02.07, созданным на базе Института радиотехнических систем и управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» в соответствии с приказом ЮФУ № 371-ОД от 22.12.2022 г.

Соискатель Махмуд Хуссейн Ахмед Махмуд, 1982 года рождения, в 2014 г. окончил магистратуру Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». В 2022 году окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» по направлению 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (направленность программы: Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения). С 2011 г. по настоящее время работает в Университете Диялы (Ирак).

Диссертация выполнена на кафедре информационной безопасности телекоммуникационных систем Института компьютерных технологий и информационной безопасности федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Румянцев Константин Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», заведующий кафедрой информационной безопасности телекоммуникационных систем.

Официальные оппоненты:

Широков Игорь Борисович, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, профессор кафедры электронной техники;

Окорочков Александр Иванович, кандидат физико-математических наук, доцент, Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет», г. Шахты, доцент кафедры «Радиоэлектронные и электротехнические системы и комплексы»

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Соискатель имеет 13 опубликованных научных работ по теме диссертации, из них в научных изданиях, входящих в Перечень научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, представленных для защиты в диссертационные советы Южного федерального университета (далее – Перечень рецензируемых научных изданий), опубликованы 3 работы; в научных изданиях, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science, опубликованы 4 работы.

Основные научные публикации по теме диссертации:

1. Махмуд, Х. А. М. Анализ восходящего лазерного канала спутниковой коммуникации в условиях атмосферной турбулентности / Х. А. М. Махмуд, К. Е. Румянцев, А. Х. Ш. Аль-Бегат // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2023. – № 4(234). – С. 174-191. – DOI 10.18522/2311-3103-2023-4-174-191. (входит в Перечень рецензируемых научных изданий).

2. Махмуд, Х. А. М. Формирование однополосной квадратурной фазовой манипуляции радиосигналов на поднесущих частотах в когерентной оптической системе коммуникации / Х. А. М. Махмуд, К. Е. Румянцев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2022. – № 5(229). – С. 209-220. – DOI 10.18522/2311-3103-2022-5-209-220 (входит в Перечень рецензируемых научных изданий).

3. Mahmood, H. A. Evolution of radio over free space optical communication utilizing subcarrier multiplexing / amplitude shift keying / H. A. Mahmood, R. K. Rummyantsev, H. S. Al-Karawi // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – № 5(215). – С. 141-149. – DOI: 10.18522/2311-3103-2020-5-141-149 (входит в Перечень рецензируемых научных изданий).

4. Mahmood, H. A. 40 Gbps Laguerre-Gaussian and Hermite-Gaussian optical mode division multiplexing for radio over fiber system / H. A. Mahmood // Journal of Optical Communications. – 2021. – Т. 42, № 4. – С. 689-692. – DOI 10.1515/joc-2018-0161 (входит в базу Scopus).

5. Mahmood, H. A. Effect of FBG compensated dispersion on SCM/ASK radio over fiber system / H. A. Mahmood, K. Y. Rummyantsev // 12th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI). – 2019. – Art. No 8966032 (p. 1-5). – DOI 10.1109/CISP-BMEI48845.2019.8966032 (входит в базу Scopus).

6. Mahmood, H. A. Radio over fiber performance evaluation in optical communication system utilizing FBG under different DCF schemes for DPSK format /

H. A. Mahmood, R. K. Ahmed // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – Т. 14, № 4. – С. 1130-1137. – DOI 10.36478/jeasci.2019.1130.1137 (входит в базу Scopus).

7. Ahmed, R. K. Performance analysis of PAM intensity modulation based on dispersion compensation fiber technique for optical transmission system / R. K. Ahmed, H. A. Mahmood // 2018 1st International Scientific Conference of Engineering Sciences-3rd Scientific Conference of Engineering Science (ISCES). – 2018. – С. 126-130. – DOI:10.1109/ISCES.2018.8340540 (входит в базу Scopus).

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Приведены ссылки на все использованные в диссертации результаты научных работ, выполненные соискателем лично и в соавторстве. В диссертации отсутствуют заимствования без ссылок на авторов или источник заимствования.

На диссертацию и автореферат поступило 10 отзывов:

1. ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», г. Нальчик. *Отзыв положительный.* Подписал заместитель директора по научно-исследовательской работе института информатики, электроники и робототехники, доцент кафедры электроники и цифровых информационных технологий, к.ф.-м.н., доцент Шомахов Замир Валериевич.

Основные замечания:

- при построении графиков на рисунках 3 и 4 принято, что мощность передатчика 1.99 дБм, диаметры антенн передатчика 10 см и приёмника 10...14 см, эффективности оптических антенн 0,8, ошибки угла наведения 1...2 мкрад; однако, из текста не ясно, из каких соображений выбраны значения этих устройств;

- в автореферате приведена формула (5) для напряжённости излучения на выходе передающей станции, в этой формуле выделены спектральные составляющие с поднесущей частотой, определенные формулой (7), следовательно, формулы позволяют оценить потери энергии в процессе формирования однополосного оптического излучения, модулированного радиосигналом на поднесущей частоте; из текста не ясно, проводились ли оценки энергетических потерь.

2. АО «Всероссийский научно-исследовательский институт «Градиент»», г. Ростов-на-Дону. *Отзыв положительный.* Подписали: ведущий научный сотрудник аспирантуры, д.т.н., профессор Булычев Юрий Гурьевич, начальник отдела математического моделирования и разработки алгоритмов радиоэлектронных систем, к.т.н., доцент Щербачев Владимир Александрович, ученый секретарь НТС, к.т.н., доцент Макариков Михаил Иванович.

Основные замечания:

- при анализе процесса формирования однополосного оптического излучения, модулированного радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией с помощью двух интерферометров Маха-Цендера отмечено, что отличительная особенность процесса связана с присутствием постоянного напряжения смещения на плечах интерферометров, в

автореферате не раскрыто, каким образом отличительная особенность сказывается на качестве формирования однополосного оптического излучения;

- при организации связи по восходящей линии Земля-спутник наибольшее время связь будет осуществляться по наклонной трассе, в формуле (9) это не находит подтверждения.

3. АО «Таганрогский научно-исследовательский институт связи», г. Таганрог. *Отзыв положительный.* Подписал ученый секретарь, к.т.н., старший научный сотрудник Гришков Александр Федорович.

Основные замечания:

- одним из преимуществ оптической однополосной модуляции является возможность увеличения пропускной способности за счет волнового мультиплексирования, это констатируется на странице 3; не ясно, получило ли развитие это положение в диссертационном исследовании?

- в последнем абзаце на странице 12 отмечается, что получено асимптотическое выражение для оценки энергетического уровня спектральных составляющих, соответствующие радиосигналам как на поднесущей частоте, так и на нулевой частоте; такие выражения очень важны с практической точки зрения, что отражено на странице 6 в разделе «Практическая значимость работы», однако сама формула в автореферате отсутствует.

4. ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А. А. Кадырова» г. Грозный. *Отзыв положительный.* Подписала директор института математики, физики и информационных технологий, к.т.н. Дахкильгова Камила Багаудиновна.

Основные замечания:

- не ясно, как диссертант, исходя из анализа графиков на рисунков 3 и 4, делает вывод «Уровни принимаемой мощность оптического излучения после прохождения через атмосферу с высотной турбулентностью, описываемой моделью Хафангеля-Валли для трассы Земля-спутник, подтверждают возможность работы спутниковой системе лазерной связи при передаче данных на расстояние 350 ... 650 км при диаметрах передающего и приёмного телескопов 100 мм»; что является основанием для такого заключения?

- при построении графиков на рисунках 7 – 9 принято что диаметры антенн передатчика 10 см и приемника 10 ... 14 см, ошибки угла наведения 1 ... 2 мкрад, однако в тексте не определена мощность передатка.

5. ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Москва. *Отзыв положительный.* Подписал заведующий кафедрой «Информационная безопасность», д.т.н., профессор Шелухин Олег Иванович.

Основные замечания:

- вероятность ошибок бит дана как функция протяжённости канала, однако не определено, что вкладывается в понятие протяжённости канала; это высота орбиты при вертикальном распространении излучения или это протяженность наклонной линии связи?

- графики на рисунках 7 – 9 позволяют разработчикам определить вероятность ошибки бит, но с ростом протяжённости канала естественно будет

падать пропускная способность; изменения скорости передачи данных не освещены в 4-й главе, как следует из автореферата.

6. ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь. *Отзыв положительный.* Подписал профессор кафедры организации и технологий защиты информации института цифрового развития, к.т.н., профессор Жук Александр Павлович.

Основные замечания:

- во второй главе предложена модель формирования однополосного оптического излучения с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте, однако из предоставленного материала не понятно, удовлетворяет ли предложенная модель требованиям к стабильности формируемого оптического излучения;

- на стр. 15 автореферата показано, что из-за высотной турбулентности, дальность связи снижается с 900 до 700 км, однако снижение этого показателя на 30% предоставлено весьма приблизительно;

- в автореферате весьма лаконично освещена методика количественной оценки принимаемой мощности когерентного оптического излучения и вероятности ошибок бит после прохождения гауссовым лазерным лучом трассы Земля-спутник, что затрудняет понимание ее основных этапов и возможностей.

7. ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи», г. Ростов-на-Дону. *Отзыв положительный.* Подписали: начальник НТК, к.т.н. Демченко Валентин Иванович, заместитель начальника НТК по науке, д.т.н., профессор Габриэльян Дмитрий Давидович, ведущий научный сотрудник отдела подготовки кадров высшей квалификации, д.ф-м.н. Звездина Марина Юрьевна, начальник управления подготовки кадров высшей квалификации, д.т.н., профессор Хуторцев Валерий Владимирович.

Основные замечания:

- функция (9), описывающая мощность принимаемого оптического излучения, имеет экстремум (максимум) по параметрам D_T и D_R ; оптимальное значение D_T и D_R зависит от ошибок наведения передатчика и приемника оптического излучения θ_T и θ_R ; проведение исследований, устанавливающих взаимосвязь параметров D_T и D_R со среднеквадратическими значениями радиальных ошибок наведения, позволило бы более полно раскрыть закономерности, определяющие выбор параметров лазерной спутниковой системы передачи радиосигналов;

- описание результатов на рисунке 6 предусматривает выполнение рисунка в цвете, представленное изображение в градациях серого затрудняет восприятие результатов.

8. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург. *Отзыв положительный.* Подписали: профессор кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов, д.т.н., профессор Вельмисов Игорь Анатольевич, доцент кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов, к.т.н., доцент Невейкин Михаил Евгеньевич.

Основные замечания:

- при обосновании выбора когерентного гомодинного оптического приёмника получены формулы на странице 15 для расчета электрических токов, не ясно, как мощность сигнала связана с напряжённостью излучения на выходе передающей станции, задаваемой формулой (5); при гомодинном приёме фазы сигнального излучения и местного гетеродина должны совпадать, тогда из приведенных формул следует, что синусоидальная составляющая равна нулю;

- диссертант должен был подробнее раскрыть особенности реализации гомодинного приёма при балансной схеме на 4-х ответвителях и введения фазового сдвига на $\pi/2$ в одном из разделённых сигналов гетеродина.

9. ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет сервиса», г. Тольятти. *Отзыв положительный.* Подписал и.о. директора Высшей школы передовых производственных технологий, д.т.н., доцент Воловач Владимир Иванович.

Основные замечания:

- не ясно чем обусловлено построение алгоритма когерентного оптического передатчика на интерферометрах Маха-Цендера и за счет чего обеспечивается высокая скорость передачи данных посредством оптического квадратурного I/Q-модулятора на двух параллельно включённых интерферометрах Маха-Цендера;

- предоставленные в диссертационной работе алгоритмы и их практическая реализация не нашли отражения в патенте на изобретение.

10. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» г. Москва. *Отзыв положительный.* Подписал профессор кафедры управления и интеллектуальных технологий, д.т.н., профессор Филаретов Геннадий Федорович.

Основные замечания:

- было бы желательно, чтобы зависимости, отображенные на рисунках 3 и 4, были предоставлены и в аналитической форме, например, в виде аппроксимирующего полинома; скорее всего, для обеспечения высокой точности здесь достаточно полинома 2-го порядка; такие аппроксимации могут оказаться полезными при практическом использовании результатов работы; в определенной степени это замечание относится и к результатам, представленным на рисунках 7 – 9, но там, конечно, все несколько сложнее.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией в отрасли науки, соответствующей теме диссертации: Широков Игорь Борисович является доктором технических наук по научным специальностям 05.11.08 «Радиоизмерительные приборы» и 05.12.17 «Радиотехнические и телевизионные системы», ведет исследования в области гомодинных систем связи и позиционирования, а также устройств беспроводной передачи сигналов; Окорочков Александр Иванович является специалистом в области формирования и обработки сигналов, а также пространственного разделения сигналов в системах радиосвязи. Оба оппонента имеют публикации в рецензируемых научных изданиях по соответствующей теме диссертации сфере исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработан алгоритм генерации когерентного оптического излучения с одной боковой полосой с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией, отличающийся реализацией на двух параллельно включённых интерферометрах Маха-Цендера на кристалле из ниобата лития в двухтактной конфигурации с постоянным напряжением смещения на всех плечах интерферометров и включением преобразования Гильберта радиосигнала;

- получены аналитические выражения для описания процесса формирования и спектрального анализа радиосигналов и оптического излучения на выходах функциональных устройств передающей станции на основе разработанной модели формирования оптического излучения с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией;

- предложен алгоритм обработки принимаемого сигнала в системе оптической связи в свободном пространстве, реализующий когерентный гомодинный приём посредством балансного включения фотодетекторов с использованием четырёх оптических ответвителей с дополнительным фазовым сдвигом на $\pi/2$ для одного из разделённых сигналов гетеродина.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- применительно к проблематике диссертации результативно (с получением обладающих новизной результатов) использованы методы генерации и модуляции для формирования радиосигналов на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией;

- показано присутствие спектральных составляющих радиосигнала на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией в формируемом оптическом излучении с одной боковой полосой, используя разложение Якоби-Ангера;

- разработаны алгоритмы формирования и гомодинного фотодетектирования оптического излучения с одной боковой полосой, модулированного радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики:

- предложенные структуры передающей и приёмной станций с передачей однополосного оптического излучения с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией позволяют повысить скорость передачи данных с 1 Гбит/с до 10 Гбит/с по сравнению с системой, формирующей оптическое излучение с двумя боковыми полосами для передачи радиосигнала на поднесущей частоте с амплитудной манипуляцией;

- полученные асимптотические выражения позволяют оценивать энергетический уровень спектральной составляющей, соответствующей радиосигналу на поднесущей частоте при формировании оптического излучения с одной боковой полосой;

- предложенная методика позволяет рассчитывать принимаемую мощность когерентного оптического излучения и вероятность ошибок бит после прохождения гауссовым лазерным лучом трассы Земля-спутник с учётом

воздействия эффектов сцинтилляции и мерцания в турбулентной атмосфере, а также дальности связи, ошибки нацеливания и диаметров антенн;

- показана возможность работы лазерной системы спутниковой связи при передаче данных на 900 км при диаметрах передающей антенны 10 см и приёмной антенны 14 см при отсутствии турбулентности в атмосфере;

- установлено, что из-за высотной турбулентности, описываемой моделью Хафнагеля-Валли для структурной характеристики показателя преломления для трассы Земля-спутник, дальность связи уменьшается на 30 %.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- теория построена на известных, проверенных данных и фактах, в том числе согласуется с результатами компьютерного моделирования в среде OPTISYSTEM, входящей пакет прикладных программ MATLAB;

- количественная оценка вероятности ошибок бит и интенсивности принимаемого спутником оптического излучения основана на известной и проверенной модели Хафнагеля-Валли для высотной турбулентности.

Полученные результаты **рекомендуется использовать** при выполнении НИОКР, посвященных разработке высокоскоростных лазерных систем спутниковой связи.

Личный вклад соискателя состоит в:

- постановке общей и частных задач диссертационного исследования;
- обработке и интерпретации результатов моделирования;
- разработке модели формирования оптического излучения с модуляцией радиосигналом;

- выводе аналитических выражений для спектрального анализа и для оценки влияния параметров атмосферного канала на радиосигнал.

На заседании 15 февраля 2024 года диссертационный совет отметил, что рассматриваемая диссертация соответствует критериям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет»», и принял решение присудить Махмуду Хуссейну Ахмеду Махмуду ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ю. В. Юханов

А. М. Пилипенко

15.02.2024г.