

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора Федерального государственного
унитарного предприятия «Ростовский-на-Дону
научно-исследовательский институт радиосвязи»
Федерального научно-производственного центра,



И.С. Омельчук

» января 2024 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации МАХМУД Хуссейна Ахмеда Махмуда,
выполненной на тему «Лазерная спутниковая система передачи
радиосигналов на поднесущей частоте с квадратурной фазовой
манипуляцией в условиях атмосферной турбулентности» и представленной
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ

В современных условиях роста потребности в средствах связи, а также роста трафика в каналах связи, в том числе космических, технология переноса радиосигнала в оптический частотный диапазон является одним из способов реализации беспроводных каналов связи. По сравнению с радиосвязью лазерная связь обеспечивает ряд преимуществ, в частности, компактные размеры излучающих и приемных устройств, низкое энергопотребление, значительное увеличение пропускной способности, отсутствие ограничений по частоте и отсутствие электромагнитных помех. В то же время практическая реализация указанных преимуществ сталкивается с рядом технических задач. В связи с этим диссертация Махмуда Хуссейна Ахмеда Махмуда, выполненная на тему «Лазерная спутниковая система передачи радиосигналов на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией в условиях атмосферной турбулентности», является актуальной и представляет значительный теоретический и практический интерес.

ДОСТОВЕРНОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается строгостью применяемого математического аппарата, результатами компьютерного моделирования на OPTISYSTEM версии 20 в среде MATLAB при оценке эффективности предложенных алгоритмов.

НОВИЗНА ОСНОВНЫХ ВЫВОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ

В диссертации получен ряд новых результатов, к основным из которых можно отнести:

- алгоритм формирования однополосного оптического излучения с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией в когерентной оптической системе коммутации;
- аналитические выражения для описания процесса формирования и спектрального анализа радиосигналов и оптического излучения на выходах функциональных устройств передающей станции;
- алгоритм обработки принимаемого сигнала в подсистеме оптической связи в свободном пространстве, реализующий когерентный гомодинный прием;
- количественные соотношения для оценки влияния турбулентной атмосферы и ошибок нацеливания антенн на вероятность ошибки бит и интенсивность принимаемого оптического излучения.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- предложенный алгоритм генерации когерентного излучения с одной боковой полосой с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией, отличающийся от известных алгоритмов реализацией на двух параллельно включенных интерферометрах Маха-Цендера на кристалле ниобата лития в двухтактной конфигурации с постоянным напряжением смещения на всех плечах интерферометров со встроенным фазовращателем на $\pi/2$ и включением преобразования Гильберта радиосигнала;
- впервые полученные 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. Используя разложения Якоби-Ангера, доказано присутствие в выходном сигнале станции спектральных составляющих радиосигнала на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией и формирование оптического излучения с одной боковой полосой;
- предложенный алгоритм обработки принимаемого сигнала в системе оптической связи в свободном пространстве, реализующий когерентный гомодинный прием посредством балансного включения фотодетекторов с использованием четырех оптических ответвителей с дополнительным фазовым сдвигом на $\pi/2$ для одного из разделенных сигналов гетеродина;
- разработана методика количественной оценки принимаемой мощности когерентного оптического излучения и вероятности ошибок бит после прохождения гауссовым лазерным лучом трассы Земля-спутник. Методика основывается на обоснованных математических моделях

атмосферных потерь из-за комбинированных детерминированных эффектов поглощения оптического излучения и рассеяния Рэлея и Ми, высотной модели Хафнагеля-Валли для структурной характеристики флуктуаций показателя преломления в атмосфере для трассы земля-спутник. Методика учитывает воздействие эффектов сцинтилляции и мерцания в турбулентностях атмосферы, а также дальности связи, ошибки нацеливания и диаметры антенн.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором в диссертации, в достаточной степени обоснованы.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основные теоретические результаты опубликованы в 11 научных работах, из них в перечне рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России для публикации материалов диссертаций соискание ученой степени кандидата и доктора технических наук, опубликовано 3 статьи. В изданиях, реферируемых в базе данных Scopus, опубликовано 4 статьи. В реферируемых изданиях, учитываемых в РИНЦ, опубликовано 6 работ.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Практическая значимость работы состоит в том, что предложенные структуры передающей и приемной станции с передачей однополосного оптического излучения с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией увеличивают 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.

Получены асимптотические выражения для оценки энергетического уровня спектральных составляющих, соответствующих радиосигналам на поднесущей и нулевой частотах при формировании оптического излучения с одной боковой полосой.

Использование предложенных моделей для интенсивности оптического излучения после прохождения трассы земля-спутник с учетом воздействия эффектов турбулентной атмосферы и ошибок нацеливания антенн позволяет количественно оценить снижение вероятности ошибок бит и интенсивности принимаемого спутником оптического излучения при различных высотах орбит, диаметрах и эффективности оптических телескопов. Уровни принимаемой мощности оптического излучения подтверждают возможность работы лазерной системы спутниковой связи при передаче данных на расстояние до 700 км при диаметрах передающего и приемного телескопов 100 мм при отсутствии турбулентности в атмосфере. При диаметрах передающего телескопа 100 мм и приемного телескопа 120 мм возможна передача данных на расстояние до 800 км. Увеличение диаметра приемного телескопа до 140 мм увеличивает дальность до 90 км. Установлено, что из-за

высотной турбулентности, описываемой моделью Хафнагеля-Валли для структурной характеристики показателя преломления для трассы Земля-спутник, дальность связи уменьшается с 900 до 700 км (на 30 %) при диаметрах передающего телескопа 100 мм и приемного телескопа 140 мм.

Результаты диссертационных исследований, посвященные разработке и исследованию лазерной системы спутниковой коммуникации, связаны с научным направлением кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем ЮФУ, что подтверждено актом внедрения результатов работ от 19.09.2023.

ЗАМЕЧАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. 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.

2. Описание результатов на рисунке 6 предусматривает выполнение рисунка в цвете. Представленное изображение в градациях серого затрудняет восприятие результатов.

Несмотря на отмеченные замечания, судя по автореферату, диссертация выполнена на требуемом научно-техническом уровне и соответствует специальности 2. 2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

ВЫВОДЫ

Диссертационная работа Махмуда Хуссейна Ахмеда Махмуда посвящена решению научной задачи, заключающейся в разработке и исследовании лазерной системы спутниковой коммуникации в условиях атмосферной турбулентности, обеспечивающей повышение пропускной способности за счет формирования однополосного оптического излучения с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией.

Диссертация представляет научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития технической отрасли знаний. Полученные автором результаты являются новыми и имеют важное прикладное значение для создания перспективных лазерных систем спутниковой коммуникации. Результаты диссертационной работы в достаточной степени отражены в публикациях автора и представлены на научно-технических конференциях.

Диссертация Махмуда Хуссейна Ахмеда Махмуда удовлетворяет всем требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в

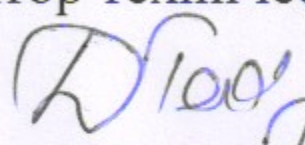
ФГАОУ ВО ЮФУ (приказ ЮФУ № 260-ОД от 30 ноября 2021),
предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Махмуд Хуссейн
Ахмед Махмуд, заслуживает присуждения ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.2.13 - Радиотехника, в том числе
системы и устройства телевидения.

Начальник НТК Федерального государственного унитарного
предприятия «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт
радиосвязи», кандидат технических наук



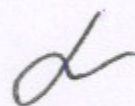
Валентин Иванович Демченко

Заместитель начальника НТК по науке Федерального государственного
унитарного предприятия «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский
институт радиосвязи», доктор технических наук, профессор



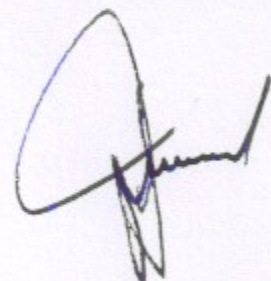
Дмитрий Давидович Габриэльян

Ведущий научный сотрудник отдела подготовки кадров высшей
квалификации Федерального государственного унитарного предприятия
«Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи»,
доктор физико-математических наук, доцент



Марина Юрьевна Звездина

Начальник управления подготовки кадров высшей квалификации
Федерального государственного унитарного предприятия «Ростовский-на-
Дону научно-исследовательский институт радиосвязи», доктор технических
наук, профессор



Валерий Владимирович Хуторцев

344038, г. Ростов-на-Дону, ул. Нансена, д. 130, тел. (863)2000555,
E-mail: rniirs@rniirs.ru