

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук,

доцента Окорочкова Александра Ивановича

на диссертационную работу Махмуда Хуссейна Ахмеда Махмуда на тему «Лазерная спутниковая система передачи радиосигналов на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией в условиях атмосферной турбулентности», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения», технические науки

Актуальность темы диссертационных исследований

Спутниковые сети предоставляют высокоскоростную связь и глобальное покрытие. Передача информации в свободном пространстве путём переноса радиосигнала на оптическое излучение считается новым подходом к проектированию беспроводных сетей. При этом на качество высокоскоростной передачи данных оказывает влияние выбор методов формирования и фотодетектирования оптического излучения, модулированного радиосигналом.

Таким образом, Махмуд Хуссейн А. М. в диссертационном исследовании решает актуальную научную задачу, связанную с разработкой и исследованием лазерной системы спутниковой связи в условиях атмосферной турбулентности с повышенной пропускной способностью.

Соответствие темы и содержания диссертационной работы научной специальности 2.2.13

Тема и содержание работы соответствуют пункту 8 области исследований паспорта научной специальности и связаны с повышением пропускной способности лазерной системы спутниковой связи посредством формирования и приёма оптического излучения, модулированного радиосигналом.

Научная новизна диссертации состоит в разработке алгоритмов генерации и обработки оптического излучения с одной боковой полосой с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией. Предложенные алгоритмы увеличивают скорость передачи данных по сравнению с системой, формирующей оптическое излучение с двумя боковыми полосами для передачи радиосигнала на поднесущей частоте с амплитудной манипуляцией. Это также соответствует пункту 8 паспорта специальности.

Практическая значимость исследований также подпадает под пункт 8 паспорта специальности: разработана структура станций с передачей однополосного оптического излучения с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией, которая увеличивает скорость передачи данных.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Для достижения поставленной цели предложена модель формирования оптического излучения с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с

квадратурной фазовой манипуляцией. В основу модели положены результаты натурных испытаний интерферометров Маха-Цендера, описанных в литературе.

Присутствие в выходном сигнале передающей станции составляющих на поднесущей частоте доказано строгостью применяемого математического аппарата (разложения Якоби-Ангера). Формирование оптического излучения с одной боковой полосой посредством введения преобразования Гильберта в области радиочастот подтверждается результатами моделирования.

Количественная оценка принимаемой мощности когерентного излучения и вероятности ошибок бит основывается на апробированных математических моделях атмосферных потерь из-за поглощения и рассеяния, на высотной модели Хафнагеля-Валли для флуктуаций показателя преломления в атмосфере.

Параметры системы-прототипа передачи информации посредством оптического излучения с двойной боковой полосой и с амплитудной манипуляцией радиосигналом на поднесущей частоте получены в результате моделирования и апробированы в журнальной статье.

Результаты расчётов вероятностей ошибок бит в лазерной системе спутниковой связи хорошо согласовываются с диаграммами созвездий составляющих радиосигнала с квадратурной фазовой манипуляцией.

Таким образом, обоснованность и достоверность научных достижений, выводов и рекомендаций подтверждается адекватностью используемых моделей, корректным применением математического аппарата, согласованностью теоретических результатов и результатов моделирования.

Научная новизна результатов диссертации

Оппонент считает справедливым отнесение к наиболее существенным новым научным результатам четыре результата, а именно:

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

Что касается конкретной формулировки первого пункта научной новизны, то здесь выделены отличительные признаки новизны: алгоритм формирования однополосного оптического излучения отличается от известных алгоритмов реализацией на параллельно включённых интерферометрах с постоянным напряжением смещения на плечах интерферометров со встроенным фазовращателем и включением преобразования Гильберта радиосигнала.

Научная новизна второго пункта состоит в том, что впервые получены аналитические выражения для описания процесса формирования и спектрального анализа радиосигналов и оптического излучения на основе

разработанной модели формирования оптического излучения с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией.

В отношении же третьего пункта считаю, что формулировка не в полной мере отражает новизну. Отсутствует отличительный признак новизны, состоящий в синхродинном приёме выделенного в приёмной станции радиосигнала на поднесущей частоте. Поэтому, считаю, что более точной формулировкой третьего пункта научной новизны была бы следующая: «Предложен алгоритм обработки принимаемого сигнала в системе оптической связи в свободном пространстве, реализующий гомодинный приём посредством балансного включения фотодетекторов с использованием четырёх оптических ответвителей с дополнительным фазовым сдвигом на $\pi/2$ для одного из разделённых сигналов лазерного гетеродина, отличающийся последующим синхродинным приёмом радиосигналов на поднесущей частоте».

Значимость результатов для науки и практики

Практическая ценность исследований заключается в увеличении скорости передачи данных за счёт формирования и гомодинного фотодетектирования оптического излучения с одной боковой полосой, модулированного радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией. По оценкам диссертанта скорости передачи данных возрастает в 10 раз по сравнению с системой, формирующей оптическое излучение с двумя боковыми полосами для передачи радиосигнала на поднесущей частоте с амплитудной манипуляцией.

Важным с практической точки зрения является получение выражений как точных, так и асимптотических для оценки энергетических уровней спектральных составляющих, соответствующих радиосигналам на поднесущей и нулевой частотах при формировании оптического излучения с одной боковой полосой.

Что же касается последнего положения в практической ценности, сформулированного диссертантом, то оно очень объёмно и не полностью раскрывает сущность проведённых исследований. Ведь диссертант в третьей главе показывает, как оцениваются энергетические потери за счёт атмосферы, турбулентных эффектов в ней, дальности связи, параметров приёмной и передающей антенн. В последней главе, используя эти результаты, даётся количественная оценка принимаемой мощности когерентного излучения и вероятности ошибок бит после прохождения гауссовым лазерным лучом трассы Земля-спутник. Поэтому, на мой взгляд, более точной формулировкой третьего положения практической ценности была бы такая: «Использование предложенной энергетической модели оптического излучения после прохождения трассы Земля-спутник с учётом воздействия эффектов турбулентной атмосферы и ошибок нацеливания антенн позволяет количественно оценить снижение вероятности ошибок бит при различных высотах орбит и параметрах оптических телескопов. Подтверждена возможность работы лазерной системы спутниковой связи при передаче данных до 700 км по дальности при диаметрах телескопов 10 см и 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 % при диаметрах передающего и приёмного телескопов 10 см и 14 см соответственно.

Оценка содержания диссертации

Диссертация изложена на 175 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников и приложений.

Глава 1 посвящена доказательству актуальности разработки и исследованию алгоритма формирования и гомодинного фотодетектирования оптического излучения с одной боковой полосой, модулированного радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией для повышения пропускной способности лазерной системы спутниковой связи.

Замечание по главе 1. В параграфе 1.3 подробно описаны методы ослабления воздействия турбулентной атмосферы и фонового излучения на качество связи. Однако в резюме не отмечен реализуемый метод ослабления влияния фонового излучения за счёт гомодинного приёма оптических сигналов.

Глава 2 посвящена доказательству положения, что предложенные алгоритм и структура передатчика, отличающиеся введением преобразования Гильберта в области радиочастот, обеспечивающих генерацию оптического излучения с одной боковой полосой, модулированного радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией.

Замечание по главе 2. Получена формула (2.39), описывающая напряжённость поля на выходе оптического передатчика. Видно, что напряжённость зависит от коэффициентов передачи функциональных устройств оптического передатчика. Однако оценки влияния этих параметров на качество приёма информации в диссертации не дано.

Глава 3 посвящена доказательству положения, что использование моделей атмосферной турбулентности для оптического излучения позволяет оценить влияние на интенсивность принимаемого излучения после прохождения трассы Земля-спутник высоты орбит спутников, параметров оптических телескопов, а также эффектов турбулентной атмосферы и ошибок нацеливания антенн.

Замечание по главе 3. Не ясно, из каких соображений диссертант ориентируется на высоты орбит спутников, диаметры оптических антенн, диапазон ошибок наведения принимаемой антенны? Не ясно, зависимости принимаемой мощности оптического излучения даны от высоты орбиты или от протяжённости линии связи?

Глава 4 посвящена доказательству, что предложенная модель оптического приёмника позволяет оценивать влияние на частоту ошибок бит системы атмосферной турбулентности, высоты орбит спутников, оптических телескопов, а также ошибок наведения антенны.

Замечание 1 по главе 4. Четвёртое положение, выносимое на защиту, не акцентирует внимание на разработку алгоритма обработки принимаемого сигнала в системе оптической связи в свободном пространстве. А ведь в

научной новизне диссертант подчёркивает, что предложен алгоритм обработки принимаемого сигнала, отличающийся последующим синхродинным приёмом радиосигналов на поднесущей частоте.

Замечание 2 по главе 4. Гомодинный приём чувствителен к разности фаз принимаемого оптического излучения и местного оптического гетеродина. Это требует фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) местного оптического гетеродина. Кроме того, последующий синхродинный приём радиосигналов на поднесущей частоте требует фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) теперь уже электронного гетеродина для синхронизации его фазы с фазой выделенного радиосигнала на поднесущей частоте. Эти вопросы не получили должного освещения в диссертации.

Замечание 3 по главе 4. В параграфе 4.3 диссертант анализирует алгоритм цифровой обработки сигналов при когерентном приёме. Резюме по параграфу звучит, как «Предложена на основе известных алгоритмов методика обработки радиосигнала с квадратурной фазовой манипуляцией в когерентном оптическом приёмнике». Следовало бы говорить о том, что предложена схема цифровой обработки сигналов после синхронного детектирования радиосигналов на поднесущей частоте. Такая формулировка отражена диссертантом в «Заключении».

Замечание 4 по главе 4. Графики на рисунках с 4.14 по 4.20 построены для случая применения антенн передатчика и приёмника с диаметрами от 10 до 14 см. Вопрос о том насколько оправдан выбор таких антенн диссертантом не раскрыт.

Автореферат достаточно полно отражает содержание и основные положения представленной диссертационной работы.

Замечание по автореферату. Графики в автореферате на рисунках 3-4 и 7-9, где даётся количественная оценка энергетическим и вероятностным параметрам системы, представлены без пояснения, при каких исходных данных они получены.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации

По результатам диссертационных исследований опубликовано 13 научных работ. Из них в перечне изданий, рекомендованных ВАК, опубликовано 3 статьи. В изданиях, реферируемых в базе «SCOPUS», опубликовано 4 статьи. В изданиях, учитываемых в РИНЦ, опубликовано 6 работ. Публикации соответствуют научной специальности, по которой выполнена диссертация. В публикациях изложены научные результаты, что подтверждает анализ ссылок диссертанта в выводах по каждой главе диссертации. Таким образом, основное содержание диссертации отражено в публикациях диссертанта.

Апробация результатов проведённых исследований работы

Основные положения научной работы докладывались и обсуждались на 5 научно-технических конференциях. Секции научно-технических конференций соответствуют научной специальности, по которой выполнена диссертация.

К содержанию диссертации имеются следующие замечания:

1. Сравнение исследуемой системы с системой-прототипом с передачей оптического излучения с двойной боковой полосой и амплитудной манипуляцией радиосигналом на поднесущей частоте не вполне корректно. Действительно, оценки пропускной способности (скорости передачи данных) должны проводиться при равных дальности связи и вероятности ошибок бит. Дальность связи в системе-прототипе всего 950 м, при том, что в исследуемой системе по линии Земля-спутник она достигает 900 км. Это же относится и к вероятности ошибок бит: в системе-прототипе эта вероятность составляет порядка 9×10^{-9} , а в исследуемой системе - порядка 10^{-4} при высоте орбиты 350 км. Оппонент понимает, что эквивалентная толщина атмосферы Земли, которая получилась бы при сжатии атмосферного столба к давлению и плотности приземного воздуха, близка к 10 км. Поэтому следовало бы произвести моделирование системы-прототипа на дальности горизонтальной линии связи вдоль поверхности Земли в 10 км. Предполагаю, что при близких вероятностях ошибок бит проигрыш системы-прототипа по пропускной способности (скорости передачи данных) был бы больше.

2. Диссертант отмечает, что вероятность ошибок бит обратно пропорциональна отношению энергии принимаемого сигнала на бит к спектральной плотности шума. Приведённые в 4 главе графики отражают влияние на вероятность ошибок бит атмосферной турбулентности, ошибки нацеливания и диаметра антенн, расходимости лазерного луча. Последнее определяет изменения энергии принимаемого сигнала на бит. А вот выбор значения спектральной плотности шума не определён. Это особенно важно для исследований, ориентированных на применение на приёмной станции обычного p-n-фотодиода, где определяющими будут тепловые шумы его нагрузки.

3. Используемая в диссертации терминология иногда расходится с принятой в России. Например, термины «коммуникация» вместо «связь», «частота ошибок бит» вместо «вероятности ошибок бит» и прочее.

Оценка диссертации в целом

В целом, несмотря на указанные выше замечания, диссертационная работа Махмуда Хуссейна Ахмеда Махмуда производит положительное впечатление. Она является последовательным, завершённым научным исследованием, посвящённым актуальной научной проблеме, содержит признаки научной новизны, обоснованность и достоверность научных достижений, выводов и рекомендаций.

Заключение

Считаю, что Махмуд Хуссейн Ахмед Махмуд достиг поставленной цели диссертационных исследований. Основные результаты проведённой работы отражают научную новизну и практическую значимость. Диссертация Махмуда Хуссейна Ахмеда Махмуда «Лазерная спутниковая система передачи радиосигналов на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией в

условиях атмосферной турбулентности», является завершённым научным трудом и удовлетворяет требованиям, установленным Положением «О присуждении учёных степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет», предъявляемым к кандидатским диссертациям. В диссертации решены поставленные автором задачи, состоящие в разработке и исследовании лазерной системы спутниковой связи в условиях атмосферной турбулентности, обеспечивающей повышение пропускной способности за счёт формирования однополосного оптического излучения с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией. Махмуд Хуссейн Ахмед Махмуд заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения», технические науки.

Официальный оппонент

кандидат физико-математических наук, доцент,

доцент кафедры радиоэлектронные и

электротехнические системы и комплексы

Института сферы обслуживания и

предпринимательства (филиал) федерального

государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования

«Донской государственный технический университет»,

в г. Шахты Ростовской области

Окорочков Александр Иванович

e-mail: okorochkov_a@mail.ru

тел. +7 (909) 404 57 02

Подпись к.ф.-м.н., доцента, доцента кафедры радиоэлектронные и электротехнические системы и комплексы Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Окорочкова Александра Ивановича ЗАВЕРЯЮ:

Директор Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет» в г. Шахты Ростовской области, доктор технических наук, профессор

Сергей Георгиевич Страданченко

12 января 2024 года

Адрес: 346500, ул. Шевченко, 147, г. Шахты, Ростовская обл.

Телефон: +7 (8636) 22-20-37

E-mail: mail@sssu.ru

