

Экз. № 1

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель

генерального директора, к.т.н.

Б.М. Боташев

2023г.



ОТЗЫВ

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

Актуальность темы диссертационных исследований.

Компания Илона Маска оснащает спутники Starlink лазерной связью. Лазерами оснащены 10 спутников Starlink на высоте 560 км, которые отправились на орбиту Земли с очередным пуском Falcon 9. Благодаря лазерной связи пользователи получают равный доступ в интернет в плане пропускной способности канала и задержкам. Характеристики лазерной связи будут сравнимы с характеристиками «наземного» широкополосного интернета. Компания утверждает, что после полного развертывания лазерная связь Starlink станет одним из наиболее быстрых вариантов передачи данных для всего мира.

Таким образом, Махмуд Хуссейн Ахмед Махмуд в диссертационном исследовании решает актуальную научную задачу, связанную с разработкой и исследованием лазерной системы спутниковой связи в условиях атмосферной турбулентности, обеспечивающей повышение пропускной способности за счет

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

Научная новизна результатов диссертации.

Новизна алгоритма генерации когерентного оптического излучения с одной боковой полосой с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией заключена в том, что реализуется на интерферометрах Маха-Цендера в двухтактной конфигурации с постоянным напряжением смещения на плечах интерферометров со встроенным фазовращателем на $\pi/2$ и включением преобразования Гильберта радиосигнала.

Аналитические выражения для описания процесса формирования и спектрального анализа радиосигналов и оптического излучения основываются на новизне алгоритма генерации когерентного оптического излучения с одной боковой полосой с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией.

Новизна алгоритма обработки принимаемого сигнала в системе оптической связи в свободном пространстве заключена, с одной стороны, в реализации когерентного гомодинного приема посредством балансного включения фотодетекторов с использованием четырех оптических ответвителей с дополнительным фазовым сдвигом на $\pi/2$ для одного из разделенных сигналов гетеродина, а, с другой стороны, последующим синхродинным приемом радиосигналов на поднесущей частоте.

Новизна методики количественной оценки принимаемой мощности когерентного оптического излучения и вероятности ошибок бит после прохождения гауссовым лазерным лучом трассы Земля-спутник основывается на учете атмосферных потерь из-за комбинированных детерминированных эффектов поглощения оптического излучения и рассеяния Рэлея и Ми, высотных изменений структурной характеристики флуктуаций показателя преломления в атмосфере для трассы Земля-спутник.

Значимость результатов исследования для науки и практики.

В результате решения поставленных задач исследования диссертантом предложены структуры станций, осуществляющие передачу и прием однополосного оптического излучения с модуляцией радиосигнала на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией с повышенной скоростью передачи данных. Разработан алгоритм синхронизации. Практический интерес представляют также разработанные диссертантом методика количественной оценки принимаемой мощности когерентного оптического излучения и вероятности ошибок бит после прохождения лазерным лучом трассы Земля-спутник.

Степень обоснованности и достоверность результатов исследований.

Доказательство присутствия в выходном сигнале станции спектральных составляющих радиосигнала на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией и формирование оптического излучения с одной боковой полосой основано на применении разложения Якоби-Ангера.

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

Публикации, отражающие основное содержание диссертации.

По результатам диссертационных исследований опубликовано 13 научных работ. Из них в перечне рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России для публикации материалов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата технических наук, опубликовано 3 статьи. В изданиях, реферируемых в базе данных «SCOPUS», опубликовано 4 статьи. В реферируемых изданиях, учитываемых в РИНЦ, опубликовано 6 работ. Публикации соответствуют научной специальности, по

которой выполнена диссертация. В публикациях отражены основные научные результаты диссертации.

К содержанию автореферата имеются следующие замечания:

1. 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.

2. При организации связи по восходящей линии Земля-спутник наибольшее время связь будет осуществляться по наклонной трассе. В формуле (9) это не находит подтверждения. Почему?

Заключение.

В целом, несмотря на указанные замечания, диссертационная работа Махмуда Хуссейна Ахмеда Махмуда производит положительное впечатление. Она является цельным научным исследованием, посвященным актуальной научной проблеме, содержит признаки научной новизны, отвечает принятым критериям достоверности. Анализ автореферата диссертации показал, что диссертант достиг поставленной цели: повышение пропускной способности лазерной системы спутниковой коммуникации посредством формирования и гомодинного фотодетектирования оптического излучения с одной боковой полосой, модулированного радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией.

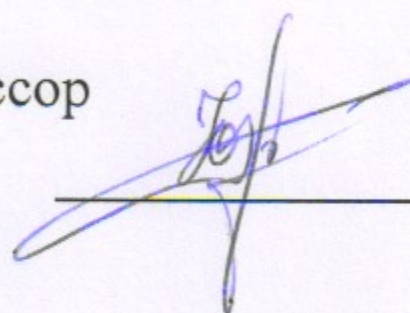
Диссертационная работа «Лазерная спутниковая система передачи радиосигналов на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией в условиях атмосферной турбулентности» удовлетворяет требованиям, установленным Положением «О присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего

образования «Южный федеральный университет», предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертант, Махмуд Хуссейн Ахмед Махмуд, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

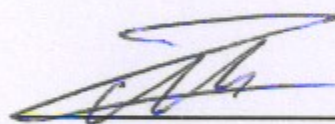
Отзыв обсужден и одобрен на заседании НТС АО «ВНИИ «Градиент», протокол № 27/12/02 от 27 декабря 2023 года.

Ведущий научный сотрудник аспирантуры
АО «ВНИИ «Градиент»,
доктор технических наук, профессор



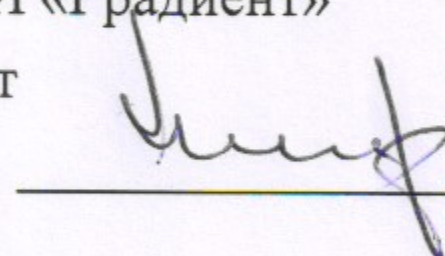
Ю.Г. Булычев

Начальник отдела математического моделирования
и разработки алгоритмов радиоэлектронных систем
кандидат технических наук,



В.А. Щербачев

Ученый секретарь НТС АО «ВНИИ «Градиент»
кандидат технических наук, доцент



М.И. Макаричков

Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт «Градиент» (АО «ВНИИ «Градиент»)

Почтовый адрес: 344000, г. Ростов-на-Дону, пр. Соколова, 96

Тел.: +7 (863) 204-20-31,

Факс: +7 (863) 232-03-45,

Сайт: <http://www.gradient.kret.com>

Электронная почта: rostov@gradient-rnd.ru