

## ОТЗЫВ

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

### **Актуальность темы диссертационных исследований.**

Лазерная связь предоставляет ряд преимуществ по сравнению с радиосвязью, помимо компактных размеров антенн и терминалов, низкого энергопотребления - это существенное увеличение пропускной способности. Качество лазерной связи существенно зависит от воздействия окружающей среды. Из-за турбулентности лазерный луч может подвергаться значительным колебаниям оптической мощности. Оптическая однополосная модуляция (OSSB) применяется с целью предотвратить потери мощности сигналов, вызванные хроматической дисперсией в атмосфере, а также для увеличения спектральной эффективности системы. Применение когерентных систем связи с гомодинным приемом способно существенно повысить чувствительность приемника и увеличить пропускную способность передачи.

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.

### **Достоверность и научная новизна результатов диссертационных исследований.**

Анализ работы, выполненной соискателем, позволяет выделить наиболее существенные новые научные результаты диссертации:

- алгоритм формирования однополосного оптического излучения с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией в когерентной оптической системе коммуникации;
- аналитические выражения для описания процесса формирования и спектрального анализа радиосигналов и оптического излучения на выходах функциональных устройств передающей станции;
- алгоритм обработки принимаемого сигнала в системе оптической связи в свободном пространстве, реализующий когерентный гомодинный прием;

- количественные соотношения для оценки влияния турбулентной атмосферы и ошибок нацеливания антенн на вероятности ошибок бит и интенсивность принимаемого оптического излучения.

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается адекватностью используемых моделей, обоснованным применением математического аппарата, согласованностью теоретических результатов и результатов моделирования.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.**

Достижение сформулированной в диссертации цели потребовало от автора эвристического синтеза алгоритма генерации когерентного оптического излучения, позволяющего формировать оптическое излучение с одной боковой полосой с модуляцией радиосигналом на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией для снижения влияния хроматической дисперсии в среде распространения и для эффективной демодуляции сигналов, закодированных в форматах модуляции высокого порядка. Предложенная структура передающей станции доказывает возможность практической реализации предложенного алгоритма генерации когерентного оптического излучения на двух параллельно включенных интерферометрах Маха-Цендера на кристалле из ниобата лития в двухтактной конфигурации.

Подробный анализ процесса формирования радиосигналов и оптического излучения на выходах функциональных устройств передающей станции на основе разработанной модели формирования оптического излучения позволил соискателю, используя разложения Якоби-Ангера, доказать присутствие в сигнале станции спектральных составляющих радиосигнала на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией и формирование оптического излучения с одной боковой полосой.

В основу методики количественной оценки принимаемой мощности когерентного оптического излучения и вероятности ошибок бит после прохождения гауссовым лазерным лучом трассы Земля-спутник положен 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. Оценка воздействия турбулентной атмосферы 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.

Таким образом, диссертационная работа обладает внутренней стройностью и завершенностью. А ее выводы достаточно обоснованы.

### **Значимость полученных автором результатов.**

Практическое значение выполненных исследований заключается в том, что предложенные структуры станций, осуществляющих передачу и прием однополосного оптического излучения с модуляцией радиосигнала на поднесущей частоте с квадратурной фазовой манипуляцией, обеспечивают повышение скорости передачи данных по сравнению с системой, формирующей оптическое излучение с двумя боковыми полосами для передачи радиосигнала на поднесущей частоте с амплитудной манипуляцией.

### **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 в РИНЦ изданиях опубликовано 6 работ. Публикации соответствуют специальности, по которой выполнена диссертация.

### **Замечания и рекомендации:**

Одним из преимуществ оптической однополосной модуляции является возможность увеличения пропускной способности за счет волнового мультиплексирования. Это констатируется на странице 3 автореферата. Из автореферата не ясно, получило ли развитие это положение в диссертационном исследовании?

В последнем абзаце автореферата 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 автореферата в разделе «Практическая значимость работы». Однако, сама формула в автореферате отсутствует.

### **Заключение.**

Несмотря на отмеченные замечания по автореферату, диссертационная работа Махмуда Хуссейна Ахмеда Махмуда представляет собой научно-квалификационную работу и соответствует требованиям пунктов 3 и 5 паспорта специальности 2.2.13 - «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» и требованиям Постановления правительства РФ № 2842 от 24

сентября 2013 года «О присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Считаю, что Махмуд Хуссейн Ахмед Махмуд заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 - «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Гришков Александр Федорович  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
Акционерное общество «Таганрогский  
научно-исследовательский институт связи»  
ученый секретарь  
научно-технического совета организации



26.12.2023г.

Почтовый адрес: 347900, ул. Седова, д. 3,  
г. Таганрог, Ростовская область  
Телефон: +7 (8634) 65-71-61, доб. 28-89  
Электронный адрес: niis@pbox.ttn.ru