

УДК 535.317.2

DOI: 10.26907/rwp29.2025.328-330

## ПЕРЕДАЧА КВАНТОВЫХ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АТМОСФЕРНОЙ ТРАССЫ. ВАРИАНТ ПОСТРОЕНИЯ ЛИНЗОВОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Р. М. Алеев, В. Н. Григорьев, А. В. Леонтьев, М. А. Чижиков, А. Ю. Новиков

АО «Научно производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения»,  
Москва, Россия, [OSP-Kazan@nps-spp.ru](mailto:OSP-Kazan@nps-spp.ru)

**Аннотация.** В последние годы наблюдается активное развитие квантовых коммуникаций, сопровождающееся достижением ряда выдающихся результатов. Современные исследования в данной области в значительной степени сосредоточены на инженерных аспектах, направленных на повышение дальности и скорости передачи квантовой информации. Однако, несмотря на значительные успехи, существует ряд фундаментальных проблем, препятствующих дальнейшему прогрессу. Одной из ключевых проблем является расхождение между идеализированными теоретическими моделями и реальными экспериментальными схемами. Это расхождение обусловлено множеством факторов, включая несовершенства оборудования, потери сигнала и другие технические ограничения. Для преодоления этих трудностей требуется проведение более сложных и детализированных расчетов, учитывающих все аспекты функционирования квантовых систем. Особое внимание в исследованиях уделяется проблеме передачи квантового сигнала в свободном пространстве, что представляет собой сложную техническую задачу. В отличие от волоконно-оптических линий связи, использование которых значительно упрощает процесс передачи, передача квантового сигнала без оптических волокон требует разработки новых методов и технологий. Таким образом, развитие квантовых коммуникаций продолжает сталкиваться с рядом вызовов, требующих глубоких теоретических и экспериментальных исследований. Однако, благодаря усилиям научного сообщества, прогресс в данной области продолжает ускоряться, открывая новые возможности для применения квантовых технологий в различных сферах.

**Ключевые слова:** ИК-диапазон, волоконная оптика, атмосферная вставка, системы наведения, квантовые линии связи, квантовая оптика, лазерные линии связи

### Transmission of quantum signals using atmospheric path. Option for constructing a lens optical system

R.M. Aleev, V. N. Grigoriev, A. V. Leontiev, M. A. Chizhikov, A. Yu. Novikov

**Abstract.** In recent years, quantum communications have been actively developing, accompanied by a number of outstanding results. Modern research in this area is largely focused on engineering aspects aimed at increasing the range and speed of quantum information transmission. However, despite significant success, there are a number of fundamental problems that hinder further progress. One of the key problems is the discrepancy between idealized theoretical models and real experimental schemes. This discrepancy is due to many factors, including equipment imperfections, signal losses, and other technical limitations. To overcome these difficulties, more complex and detailed calculations are required that take into account all aspects of the functioning of quantum systems. Particular attention in the research is paid to the problem of transmitting a quantum signal in free space, which is a complex technical task. Unlike fiber-optic communication lines, the use of which significantly simplifies the transmission process, transmitting a quantum signal without optical fibers requires the development of new methods and technologies. Thus, the development of quantum communications continues to face a number of challenges that require deep theoretical and experimental research. However, thanks to the efforts of the scientific community, progress in this area continues to accelerate, opening up new opportunities for the application of quantum technologies in various fields.

**Keywords:** IR range, fiber optics, atmospheric insertion, guidance systems, quantum communication lines, quantum optics, laser communication lines

### Основная задача

В рамках данного исследования предлагается разработка и анализ оптической системы, предназначенной для передачи сигналов в двух аналогичных по составу компонентов и при этом независимых каналах: канале данных и канале наведения, функционирующих на различных длинах волн в диапазоне от 750 нм до 1590 нм. Особое внимание уделяется передаче сигналов на расстояние до 50 метров через атмосферную вставку, при этом минимизируя

оптические потери без преобразований. Нижняя граница эффективности передачи сигнала между передающим и приемным блоками должна составлять не менее 50%.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать оптическую систему, обеспечивающую формирование узконаправленного пучка на рабочей длине волны, с последующей максимально точной фокусировкой излучения передатчика на торце одномодового волокна приемного канала типа SMF-28. Важно отметить, что излучение, исходящее с торца одномодового волокна, представляет собой гауссов пучок, с центром перетяжки, совпадающим с торцом волокна.

С учетом требований к эффективности передачи сигналов, необходимо осуществить ахроматизацию оптических систем как в передающем, так и в приемном блоках, для обеспечения равномерной передачи в спектральных диапазонах 750-850 нм, 1300 нм, 1550 нм и 1590 нм. Это позволит минимизировать влияние дисперсионных эффектов на качество передаваемых сигналов и обеспечить стабильную работу системы в различных условиях эксплуатации.

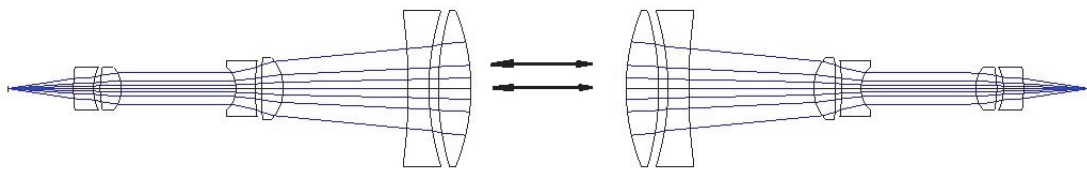
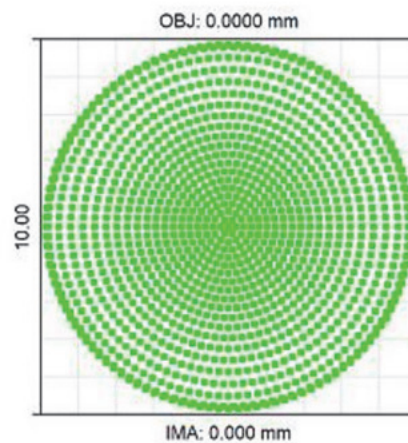


Рис. 1. Атмосферный канал квантовой связи



RMS radius — 3,48

GEO radius — 4,85

Рис. 2. Spot Diagram

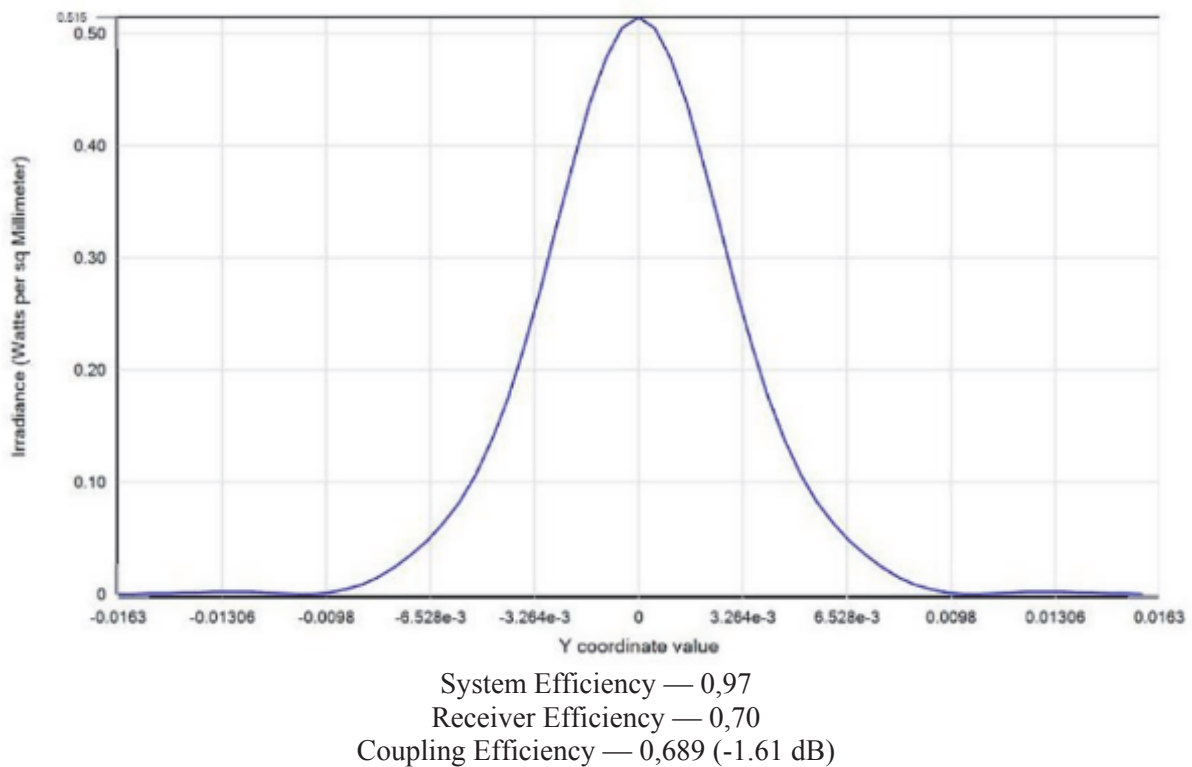


Рис. 3. Эффективность передачи данных через атмосферную вставку

### Заключение

Произведен расчет оптической системы технологичного объектива имеющего ахроматизацию в диапазоне от 750 нм до 1590 нм.

Для данной оптической системы разработана конструкторская документация, изготовлен макетный образец, проведены работы в лабораторных условиях, подтверждающие технические характеристики расчетной модели оптической системы.

### Список литературы

1. А.В. Глейм. Оптико-электронная система квантовой передачи информации на боковых частотах модулированного излучения с компенсацией неконтролируемого изменения поляризации и оптической синхронизацией: автореферат дис., 2015.
2. Б. Милинчис, В. Петров. Атмосферная лазерная связь // ИНФОРМОСТ-Радиоэлектроника и Телекоммуникации. – 2001. – № 5(18).
3. Zemax, Optical design program. User's guide. Руководство пользователя пакетом программ Zemax / пер. с английского. А.Э. Наджип. – 2000. – 479 с.
4. Проектирование оптико-электронных приборов: учебник для техникумов / А.С. Елизаренко, Ю.Б. Парвулюсов, В.П. Солдатов, Ю.Г. Якушенков]; под ред. Ю.Г. Якушенкова. – М.: Машиностроение, 1981. – 263 с.
5. Основы конструирования оптических приборов: учеб. пособие для опт. спец. вузов / В.В. Кулагин. – Ленинград: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 312 с.
6. Справочник конструктора оптико-механических приборов М.Я. Кругер, В.А. Панов, В.В. Кулагин, Г.В. Погарев, Я.М. Кругер, А.М. Левинзон. – Ленинград: Машиностроение, 1968. – 760 с.