

АТМОСФЕРА ГОРОДА И КВАНТОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕЙ

С. Ю. Поляков*, К. И. Приходько, С. Е. Широбакин

АО «Мостком», Рязань, Россия

*E-mail: s_pol@mостком.ru

Данная работа посвящена оценке влияния различных атмосферных явлений на параметры беспроводной оптической связи. Актуальность работы связана с определением возможности реализации технологии квантового распределения ключей (КРК) в открытых оптических каналах.

Построение беспроводного КРК осложняется спецификой городской среды. Сложный рельеф подстилающей поверхности формирует спорадическую динамику тропосферных процессов, приводящую к мелкомасштабной приземной турбулентности со сложной пространственно-временной структурой. Турбулентные искажения вызывают скинтилляции, расфокусировку пучка и флуктуации волнового фронта, существенно снижающие эффективность приема при вводе атмосферного излучения в оптическое волокно. Процессы носят динамический характер и сопровождаются изменением амплитудных потерь в канале распространения излучения вплоть до полной невозможности связи, причем любого, не только квантового типа. Для атмосферных каналов требуется решение комплексной задачи: статической оптимизации оптических систем (потери < 20–30 дБ на всей трассе) и динамической компенсации турбулентных искажений.

Измерения проводились на трассе длиной 3500 метров проложенной над плотной городской застройкой в течение 14 суток. Трасса проходила над жилыми домами, городским парком, малыми и крупными автодорогами, а также над железной дорогой. Такая подстилающая поверхность значительно отличается от условий распространения излучения над степью или водной поверхностью, т.к. имеет очаги резкого изменения турбулентности атмосферы.

Испытательное оборудование включало в себя два терминала оптической связи со световым диаметром 85 мм. Терминалы были оборудованы системами автоматической регулировки мощности и поддержания параллельности осей излучения информационного канала (ИНК 1550 нм, расходимость 0.15 мрад), служебным каналом наведения (СЛК 850 нм, расходимость 1 мрад). Одна точка располагалась на высоте 80 м, вторая – 30 м над уровнем земли. Фиксировались значения принимаемой мощности, уровня мощности передатчиков, показания координатора с обеих сторон с темпом 2 отсчета в секунду. Кроме того, было измерено значение уровня принимаемого сигнала ИНК в полосе 10 КГц с фиксацией результатов на осциллографе.

Обработка полученного массива данных позволило сделать вывод, что при использовании данного типа оборудования доступность канала КРК на трассе 3500 м не превышает 12.5% в день. Оценки показали, что при сокращении трассы до 2000 м доступность может возрасти до 66.4%. Еще большее значение доступности канала КРК в городских условиях возможно удастся получить за счет применения систем адаптивной оптики.

Невозможно применить имеющуюся теорию турбулентности к конкретной городской среде (из частной беседы с директором Института теоретической физики им. Л. Д. Ландау член-корр. РАН И. В. Колоколовым).

URBAN ATMOSPHERE AND QUANTUM KEY DISTRIBUTION

S. Yu. Polyakov*, K. I. Prikhodko, S. E. Shirobakin

JSC «Mostkom», Ryazan, Russia

*E-mail: s_pol@mостком.ru

This paper assesses the impact of various atmospheric phenomena on wireless optical communication parameters. The relevance of this work lies in determining the feasibility of implementing quantum key distribution (QKD) technology in open optical channels.

The design of a wireless QKD is complicated by the specifics of the urban environment. The complex terrain of the underlying surface generates sporadic dynamics of tropospheric processes, leading to small-scale ground turbulence with a complex spatiotemporal structure. Turbulent distortions cause scintillations, beam defocusing, and wavefront fluctuations, significantly reducing reception efficiency when atmospheric radiation is introduced into an optical fiber. These processes are dynamic in nature and are accompanied by changes in amplitude losses in the radiation propagation channel, sometimes even completely preventing communication, including any type, not just quantum. Atmospheric channels require a complex solution: static optimization of optical systems (loss $< 20\text{--}30$ dB over the entire path) and dynamic compensation for turbulent distortions.

Measurements were conducted over a 3.500-meter path laid over a dense urban area for 14 days. The path passed over residential buildings, a city park, small and large highways, and a railway. This underlying surface differs significantly from the conditions of radiation propagation over steppe or water, as it contains areas of sharp changes in atmospheric turbulence.

The test equipment included two optical communication terminals with an 85 mm clear aperture. The terminals were equipped with an automatic power control system and a system for maintaining the parallelism of the radiation axes of the data channel (1550 nm ILC, 0.15 mrad divergence) and the service guidance channel (850 nm SLC, 1 mrad divergence). One point was located at an altitude of 80 meters, the second at an altitude of 30 meters above ground level. Received power, transmitter power levels, and coordinator readings were recorded at a rate of two samples per second on both sides. In addition, the received signal level of the INC was measured in a 10 kHz band, with the results recorded on an oscilloscope.

Processing the resulting dataset allowed us to conclude that, when using this type of equipment, the availability of the QKD channel over a 3.500-meter path does not exceed 12.5% per day. Estimates showed that by shortening the path to 2.000 meters, availability could increase to 66.4%. Even greater availability of the QKD channel in urban environments could be achieved through the use of adaptive optics systems.

It is impossible to apply existing turbulence theory to a specific urban environment (from a private conversation with Corresponding Member of RAS I. V. Kolokolov, Director of the Landau Institute of Theoretical Physics).