

УДК 621.391

А. В. Бритвин

Институт лазерной физики СО РАН
пр. Акад. Лаврентьева, 13/3, Новосибирск, 630090, Россия
E-mail: jeero@yandex.ru

**ОЦЕНКА ИМПУЛЬСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ОПТИЧЕСКОГО АТМОСФЕРНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО КАНАЛА
С РАССЕЯНИЕМ***

В последнее время многими лабораториями исследуются оптические атмосферные системы передачи информации между объектами, не имеющими прямой видимости друг с другом, за счет рассеяния оптического излучения на частицах воздуха. В статье рассматривается вопрос оценки искажения оптических импульсов при прохождении атмосферного канала с рассеянием. Представлены некоторые экспериментальные результаты.

Ключевые слова: рассеяние, ультрафиолет, искажение импульса.

Организация оптического канала между объектами без прямой видимости основана на приеме рассеянного оптического излучения на частицах воздуха [1–4]. Наиболее подходящим для данного вида связи является ультрафиолетовый диапазон, имеющий по сравнению с инфракрасным диапазоном больший коэффициент рассеяния в атмосфере и меньший уровень солнечного фона (для длин волн меньше 290 нм фоном можно пренебречь) [5].

В атмосферных оптических каналах используется импульсная модуляция. Искажение импульса и длительность фронтов влияет на выбор скорости передачи данных. Определим возможные искажения импульсов в ультрафиолетовом атмосферном канале с рассеянием.

В случае использования лазерных источников с малым углом расхождения сечение луча на расстоянии несколько километров практически не изменяется и в сравнении с геометрией трассы мало, поэтому можно им пренебречь [6]. Схема для расчета показана на рис. 1.

Пусть в поле зрения приемника попадает участок луча от l_1 до l_2 . Тогда принимаемую мощность можно оценить выражением [5]

$$P_r = P_0 \int_{l_1}^{l_2} \frac{A_{\text{пр}}}{3/4 \cdot \pi \cdot L^2} \times \\ \times [\sigma_m \cdot Jm(\gamma) + \sigma_a \cdot Ja(\gamma)] \cdot e^{-\alpha(L_1+L_2)} dl, \quad (1)$$

$$l_1 = L \sin(\psi_r - \omega_r) / \sin(\psi_t + \psi_r - \omega_r),$$

$$l_2 = L \sin(\psi_r + \omega_r) / \sin(\psi_t + \psi_r + \omega_r),$$

где L – расстояние между приемником и передатчиком; ψ_r – угол подъема передатчика; ψ_r – угол подъема приемника; ω_r – угол поля зрения приемника; P_0 – излучаемая мощность; P_r – принимаемая мощность; $A_{\text{пр}}$ – площадь приемника; Jm – индикатриса молекулярного рассеяния; Ja – индикатриса аэрозольного рассеяния [6]; σ_a – коэффициент аэрозольного рассеяния; σ_m – коэффициент молекулярного рассеяния; α – общий коэффициент ослабления (поглощение газами плюс рассеяние); L_2 – расстояния от точки рассеяния до приемника; L_1 – расстояние от излучателя до точки рассеяния; γ – угол рассеяния.

Из (1) видно, что увеличение принимаемой мощности возможно за счет увеличения поля зрения приемника и площади приема. Осенью 2009 г. в Новосибирске была проведена серия экспериментов по приему рассеянного сигнала от передатчика на светодио-

* Автор благодарит сотрудников лаборатории лазерных информационных систем ИЛФ СО РАН за помощь в проведении эксперимента.

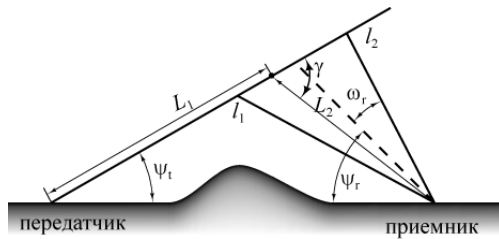


Рис. 1. Схема для расчета оптического канала с рассеянием

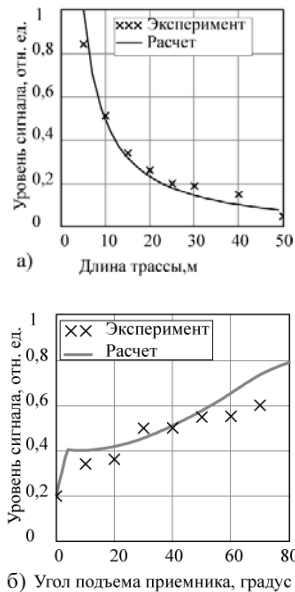


Рис. 2. Теоретическая и экспериментальная зависимость уровня принимаемого сигнала от расстояния между передатчиком и приемником (а) и от угла подъема приемника на расстоянии 15 м (б)

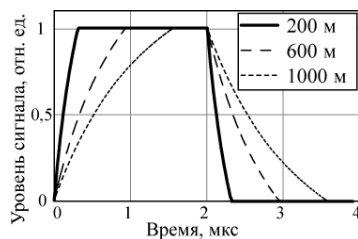


Рис. 3. Нормированный уровень принимаемого рассеянного сигнала на различных расстояниях от времени

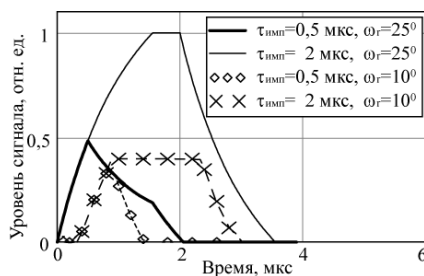


Рис. 4. Результаты расчета принятого рассеянного сигнала для импульсов длительностью $\tau_{\text{имп}}$ 0,5 и 2 мкс для углов поля зрения приемника ω_r 10 и 25°

де. В качестве излучателя использовался светодиод с длиной волны 365 нм, шириной спектра 20 нм и импульсной мощностью 100 мВт. В качестве приемника использовалась ФЭУ фирмы «Hamamatsu» R-1464. Эксперимент проходил в ясную погоду при температуре от -3 до $+5$ °С в темное время суток. На рис. 2 представлена расчетная по (1) и экспериментальная зависимости приема рассеянного сигнала от расстояния между приемником и передатчиком (рис. 2, а) и от угла подъема приемника на расстоянии 15 м (рис. 2, б). Передатчик направлен вертикально вверх.

Экспериментальные результаты показали достаточную близость к расчетным оценкам уровня принимаемого сигнала.

Основной причиной искажение импульса в канале с рассеянием является разница путей прохождения рассеянного излучения. Введем в формулу (1) функцию времени:

$$P_r(t) = P_0 \int_{l_1}^{l_2} \frac{A_{\text{пр}} \cdot F_{\text{sig}}(t - (L_1 + L_2)/c)}{\frac{3}{4} \cdot \pi \cdot L_2^2} \times \\ \times [\sigma_m \cdot Jm(\gamma) + \sigma_a \cdot Ja(\gamma)] \cdot e^{-\alpha(L_1 + L_2)} dl,$$

где $F_{\text{sig}}(t)$ – функция сигнала; $(L_1 + L_2)/c$ – задержка сигнала.

Для расчетов используется сигнал прямоугольной формы.

На рис. 3 представлены длительности принимаемого сигнала при расстоянии между передатчиком и приемником 200, 600 и 1 000 м (угол подъема излучателя 30°, угол подъема приемника 60°, угол поля зрения приемника 25°). Хорошо видно, что при увеличении расстояния между передатчиком и приемником увеличиваются фронты сигнала.

На рис. 4 представлен результат расчета формы импульса длительностью 0,5 и 2 мкс для приемника с углом поля зрения 10 и 25° (угол подъема излучателя и приемника тот же, расстояние между передатчиком и приемником 1 000 м).

Из рис. 4 видно, что импульс длительностью 0,5 мкс имеет меньшую амплитуду, а форма импульса искажена значительно больше импульса длительностью 1 мкс для приемника с полем зрения 25°. Это объясняется тем, что при большом угле поля зрения приемника импульс малой длительности заполняет лишь часть объема рассеяния, попадающего в поле зрения приемника. Для приемника с полем зрения 10° импульс дли-

тельностью 0,5 мкс имеет меньшие искажения, а импульс длительностью 2 мкс имеет меньшую амплитуду.

В экспериментах по приему рассеянного сигнала на расстоянии до 50 м изменение формы принятого импульса длительностью 100 мкс не наблюдалось.

Итак, можно сделать следующие выводы.

Для обеспечения большой скорости передачи данных рекомендуется использовать приемник с малым углом поля зрения.

Увеличение амплитуды сигнала целесообразно проводить за счет увеличения площади приемника.

Список литературы

1. Щетинин Ю. И., Поллер Б. В., Бритвин А. В. Использование ультрафиолетовых каналов с рассеянием в беспроводных информационных системах и микросистемах // Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника: Сб. материалов Междунар. науч. конгресса «Гео-Сибирь». Новосибирск, 2007. Т. 4. С. 176–180.

2. Shaw G. A., Siegel A. M., Nischan M. L. Demonstration System and Applications for

Compact Wireless Ultraviolet Communications // Proc. of SPIE. 2003. Vol. 5071. P. 241–252.

3. Shaw G. A., Siegel A. M., Model J. Extending the Range and Performance of Non-Line-of-Sight Ultraviolet Communication Links // Proc. of SPIE. 2006. Vol. 6231. P. 62310C.1–62310C.12.

4. Zhengyuan Xu, Gang Chen, Feras Abou-Galala, Michael Leonardi. Experimental Performance Evaluation of Non-Line-of-Sight Ultraviolet Communication Systems // Proc. of SPIE. 2007. Vol. 6709. P. 67090Y-1–67090Y-12.

5. Бритвин А. В., Поллер Б. В., Алексеев А. В. О свойствах обратного рассеяния ультрафиолетовых сигналов для управления подвижными объектами // Сб. материалов VI Междунар. науч. конгресса и выставки «Гео-Сибирь-2008». Новосибирск, 2008. Т. 4, ч. 2. С. 39–45.

6. Пожидаев В. Н. Выбор длины волны для систем загоризонтной связи // Радиотехника и электроника. 1977. № 11. С. 2265–2271.

Материал поступил в редколлегию 31.03.2010

A. V. Britvin

THE PULSE CHARACTERISTIC ESTIMATION OF OPTICAL ATMOSPHERIC UV-CHANNEL WITH SCATTERING

Last time optical atmospheric communication systems between objects without line of sight, due to the scattering of optical irradiation on the air particles are investigating by many laboratories. The distortion estimation of optical pulses during the atmospheric channel with scattering passing are discussed in this paper

Keywords: scattering, ultraviolet, pulse distortion