

## Устранение помех обратного рассеяния лазерного излучения в квазинепрерывных лидарах

В. И. Григорьевский<sup>1</sup>, Я. А. Тезадов<sup>2</sup>, А. В. Элбакидзе<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Московская обл., Фрязино, 141190, Россия  
E-mail: vig248@ire216.msk.su

<sup>2</sup> ИРЭ-Полюс, Московская обл., Фрязино, 141190, Россия  
E-mail: vig248@rambler.ru

В работе представлены результаты теоретического и экспериментального исследования величины обратного рассеяния света при испытании лидаров в наземных условиях, работающих в непрерывном или квазинепрерывном режиме, когда невозможно провести стробирование и устранить влияние обратного рассеяния света в атмосфере на принимаемый лидаром сигнал. Проведённые теоретические расчёты дают величину обратного рассеяния на уровне  $\sim 4 \cdot 10^{-12}$  Вт на длине волны 1600 нм при мощности передатчика 2 Вт и разnose приёмника и передатчика друг от друга на расстояние 5 см. Проведённый эксперимент подтвердил правильность теоретической оценки обратного рассеяния. Небольшое расхождение теоретических и экспериментальных данных объясняется пасмурной погодой и наличием влаги в атмосфере. Разнос приёмника и передатчика на 25 см друг от друга позволил уменьшить обратное рассеяние до величины шумов фотоприёмника.

**Ключевые слова:** лидар, обратное рассеяние, атмосфера, индикатриса, дистанционное зондирование, оптический передатчик, приемник

Одобрена к печати: 29.11.2017  
DOI:10.21046/2070-7401-2018-15-1-71-74

### Введение

При испытаниях и калибровках космических лидаров для дистанционного зондирования Земли, работающих в непрерывном или квазинепрерывном режиме в наземных условиях, когда приёмник и передатчик находятся рядом, возникает нежелательное рассеяние назад от молекул воздуха, находящихся вблизи от приёмопередатчика (Акимова и др., 2015). Это рассеяние при нестабильной атмосфере может создавать изменчивые дополнительные шумы и наводки, искажающие результаты измерений. В отличие от импульсных лидаров, когда стробирование входящих на фотоприёмник коротких импульсов света может полностью устранить обратное атмосферное отражение от близлежащих слоёв атмосферы, в квазинепрерывных лидарах возможность стробирования отсутствует. Простым способом устранить нежелательное обратное рассеяние в квазинепрерывных лидарах является разнос приёмника и передатчика на некоторое расстояние друг от друга. Однако большой разнос увеличивает габариты прибора, что не всегда возможно. В связи с этим возникает вопрос об оптимальном разnose приёмника и передатчика в лидарных комплексах наземного базирования.

Целью данной работы является определение величины нежелательного обратного рассеяния лазерного излучения для лидара с мощным передатчиком, измеряющего концентрацию примесных газов в атмосфере, расчёт оптимального разnose его приёмника и передатчика.

### Теоретические оценки обратного рассеяния лазерного излучения

Рассмотрим геометрию задачи, *рис. 1*, где  $\alpha$  и  $\beta$  — полные углы полей зрения приёмного и передающего объективов. Причём для упрощения выкладок будем считать, что  $\alpha \ll \beta$ . Расстояние до точки рассеяния обозначим  $R$ , а расстояние между осями приёмного и передающего объективов —  $b$ .

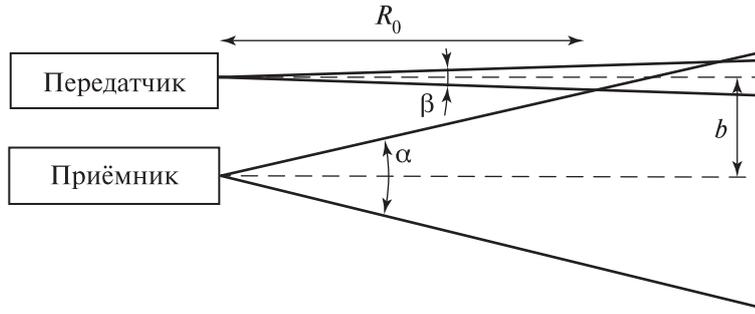


Рис. 1. Схема расположения приёмника и передатчика лидара в задаче обратного рассеяния света

Как видно на рис. 1, поле зрения передающего объектива начинает перекрывать поле зрения приёмного объектива (т.е. с этого расстояния уже возможен приём обратного рассеяния) с расстояния  $R_0$ , которое при условии  $\alpha \gg \beta$  примерно равно:

$$R_0 \approx \frac{b}{\alpha/2}. \tag{1}$$

Оценим величину мощности света обратного рассеяния, попадающую назад в приёмный объектив. Формула полного обратного рассеяния запишется в виде:

$$P_{\text{рас}} \approx \int_{R_0}^{\infty} \frac{P_0 \sigma N r^2}{R^2} dR, \tag{2}$$

где  $P_0$  — излучаемая лидаром мощность;  $\sigma$  — сечение рассеяния одиночной молекулой воздуха;  $N$  — число Лошмидта;  $r$  — радиус приёмного объектива;  $R$  — текущее расстояние от лидара до рассеивающего объёма. В формуле (2) сделаны следующие допущения: средний диаметр луча передатчика составляет величину  $\sim 1$  см, что близко к реальным параметрам проведённого ниже эксперимента, а индикатриса рассеяния молекул воздуха сосредоточена в основном в направлениях вперёд и назад в телесных углах  $\pm \pi/2$  (Тимофеев, Васильев, 2007). Интерпретация данной формулы заключается в суммировании рассеянной мощности света, попадающей в приёмный объектив лидара от каждой молекулы воздуха, находящейся на пути луча. Проводя интегрирование в выражении (2) и подставляя в полученный результат величину  $R_0$  из формулы (1), получаем:

$$P_{\text{рас}} \approx \frac{P_0 N r^2 \alpha}{2b}. \tag{3}$$

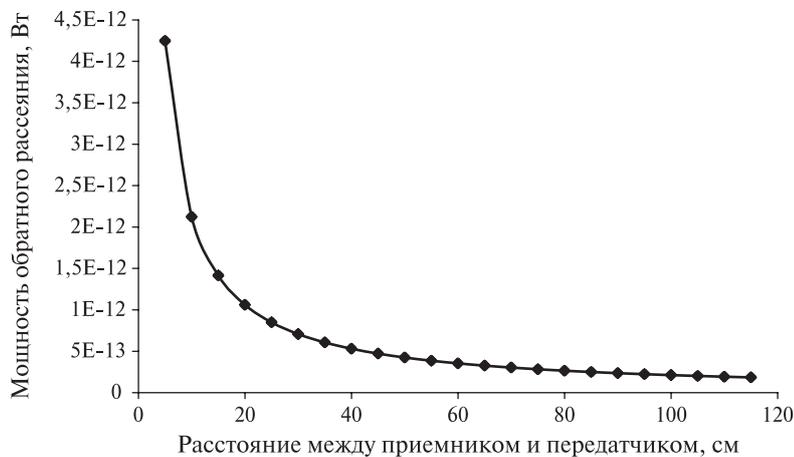


Рис. 2. Теоретическая зависимость мощности обратного рассеяния, попадающего в лидар, в зависимости от разнеса передатчика и приёмника

На рис. 2 (см. с. 72) изображена зависимость  $P_{\text{рас}}$  от расстояния  $b$  при следующих параметрах лидарной системы:  $P_0 = 2$  Вт;  $\alpha = 0,004$ ; площадь излучаемого пучка  $\sim 1$  см<sup>2</sup>;  $r = 2$  см;  $\sigma_N = 1,327 \cdot 10^{-9}$  см<sup>-1</sup> — величина рассеяния на единицу длины луча для длины волны света  $\sim 1600$  нм (Тимофеев, Васильев, 2007).

### Экспериментальные результаты

Для проверки полученных теоретических данных по формуле (3) был проведён эксперимент на горизонтальной трассе. Лидар с параметрами, указанными выше, работал по отражающей мишени с коэффициентом отражения  $k = 0,3$ , расположенной на расстоянии  $L = 1250$  м, а затем прицеливался в «небо», когда отсутствовали какие-либо отражающие мишени на пути луча. Сигналы, полученные после фотоприёмника, составили соответственно 2,0 и 0,3 В. То есть сигнал от «неба» был примерно в 7 раз меньше, чем от мишени. Расчёт мощности, принимаемой от мишени, даёт величину:  $P_0 k \frac{r^2}{2L^2} = 2 \text{ Вт} \times 0,3 \times \frac{0,02^2}{2 \times 1250^2} = 7,7 \cdot 10^{-11}$  Вт.

Следовательно, сигнал от «неба» составил величину примерно в семь раз меньше, т.е.  $\sim 1,1 \cdot 10^{-11}$  Вт. Теоретическое значение, определяемое из графика (см. рис. 2), составляет величину  $4,25 \cdot 10^{-12}$  Вт — это в 2,5 раза меньше, чем в эксперименте. Такое различие, на наш взгляд, объясняется тем, что в момент измерений погода стояла пасмурная и в атмосфере присутствовали пары воды, которые усиливали эффект обратного рассеяния. Впоследствии приёмник и передатчик были разнесены на расстояние 25 см друг от друга. Проведённый после этого замер обратного рассеяния показал, что оно снизилось в  $\sim 5$ – $6$  раз и составило значение 0,053 В после фотоприёмника, что оказалось на уровне шумов аппаратуры и не влияло на результаты лидарных измерений.

### Заключение

Таким образом, проведённый теоретический расчёт адекватно описывает величину обратного рассеяния для лидарной аппаратуры графиком на рис. 2, которым можно пользоваться в практических случаях, используя конкретные параметры аппаратуры. Для более полного подавления обратного рассеяния описываемой в данной работе аппаратуры желательно разнести приёмник и передатчик на расстояние до  $\sim 100$  см, однако габаритные ограничения не позволяют этого сделать. Тем не менее разнос на 25 см позволил ослабить сигнал обратного рассеяния почти в 6 раз, что оказалось на уровне шумов аппаратуры и не искажало результатов калибровочных измерений.

### Литература

1. Акимова Г. А., Григорьевский В. И., Матайбаев В. В., Садовников В. П., Сырых Ю. П., Тезадов Я. А., Феденев А. В., Хабаров В. В. Увеличение энергетического потенциала лидара для контроля метана на основе квазинепрерывного источника излучения // Радиотехника и электроника. 2015. Т. 60. № 10. С. 1010–1014.
2. Тимофеев Ю. М., Васильев А. В. Основы теоретической атмосферной оптики: учебно-методич. пособие. СПб., 2007. 152 с.

## Elimination of backscattering noise of laser radiation in quasi-continuous lidars

V. I. Grigorievsky<sup>1</sup>, Y. A. Tezadov<sup>2</sup>, A. V. Elbakidze<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *V. A. Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics RAS  
Moscow region, Fryazino 141190, Russia  
E-mail: vig248@ire216.msk.su*

<sup>2</sup> *IPG – Photonics Group, Moscow region, Fryazino 141190, Russia  
E-mail: vig248@rambler.ru*

The paper presents the results of a theoretical and experimental investigation of the backscattering of light in lidars operating in a continuous or quasi-continuous regime when it is impossible to perform gating and eliminate the effect of backscattering of light in the atmosphere on the received signal. Theoretical calculations give backscattering at a level of  $\sim 4 \cdot 10^{-12}$  W at a wavelength of 1600 nm with a transmitter power of 2 W and a separation of the receiver and transmitter from each other by a distance of 5 cm. The experiment confirmed the correctness of the theoretical backscatter estimation. A slight discrepancy between the theoretical and experimental data is due to cloudy weather and the presence of moisture in the atmosphere. Separation of the receiver and the transmitter by 25 cm from each other allowed reducing the backscatter to the value of the noise of the photodetector.

**Keywords:** lidar, backscattering, atmosphere, indicatrix, remote sensing, optical transmitter, receiver

Accepted: 29.11.2017

DOI:10.21046/2070-7401-2018-15-1-71-74

### References

1. Akimova G.A., Grigor'evskii V.I., Mataibaev V.V., Sadovnikov V.P., Syrykh Yu. P., Tezadov Ya. A., Fedenev A. V., Khabarov V.V., Enhancement of the energy potential of a lidar for methane detection with the use of a quasi-continuous radiation source, *Radiotekhnika i elektronika*, 2015, Vol. 60, No. 10, pp. 1058–1061.
2. Timofeev Yu. M., Vasil'ev A. V., *Osnovy teoreticheskoy atmosferno optiki* (Fundamentals of theoretical atmospheric optics), St. Petersburg: St. Petersburg University, 2007, 152 p.