

## АНАЛИЗ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ НАКЛОННОЙ ДАЛЬНОСТИ

ЛЕ ДИН ВУ, Е. Г. ЛЕБЕДЬКО

Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: [eleb@rambler.ru](mailto:eleb@rambler.ru)

При импульсном облучении поверхностей их отражательные импульсные характеристики наиболее полно могут быть определены отражательными свойствами поверхностей. При измерении наклонной дальности отражение от подстилающей поверхности может иметь несколько энергетических центров, нивелирующих истинную цель. Рассмотрены импульсные характеристики элементарных ламбертовых поверхностей и сигналы, отраженные от таких поверхностей. Полученные с помощью компьютерного моделирования значения отражательных импульсных характеристик некоторых типичных подстилающих поверхностей сопоставлены со значениями этих характеристик в случае наличия цели.

**Ключевые слова:** отражательные свойства поверхностей, отражательная импульсная характеристика поверхности, наклонная дальность, нестационарные облучение, зондирующий сигнал

При определении характеристик полезного сигнала основные трудности могут возникнуть при оценке отражательных свойств объекта [1]. Принимаемый сигнал в оптической локации образуется в результате облучения объекта локации определенным образом сформированным зондирующим сигналом и отражения в направлении приема части лучистого потока. Для учета нестационарного облучения объекта локации может быть недостаточно знания его эффективной отражающей поверхности, и при обнаружении и оценке параметров отраженных сигналов необходим более общий подход к описанию отражательных свойств облучаемой поверхности [2].

Для описания отражательных свойств поверхности объектов локации во временной области может быть использована отражательная импульсная характеристика поверхности  $g_3(t)$  или отражательная функция веса, определяемая выражением [1]

$$g_3(t) = \frac{\pi I_{\delta}(t)}{A} \quad (\text{м}^2/\text{с}), \quad (1)$$

где  $I_{\delta}(t)$  — функция энергетической силы света при зондирующем сигнале в виде дельта-функции (Вт/ср);  $A$  — поверхностная плотность энергии зондирующего сигнала в картинной плоскости объекта локации (Дж/м<sup>2</sup>).

Отражательные импульсные характеристики изотропных поверхностей можно представить в виде [2]:

$$g_3(t) = \int r(y) \cos(\gamma)^2 \delta\left[t - \frac{2z}{c}\right] ds, \quad (2)$$

где  $r(y)$  — коэффициент яркости элемента поверхности,  $\delta\left(t - \frac{2z}{c}\right)$  — дельта-функция,  $\gamma$  — угол между направлением излучения и нормалью к элементу поверхности,  $c$  — скорость света.

По известным отражательным характеристикам поверхностей  $g_3(t)$  и заданному зондирующему сигналу могут быть определены характеристики отраженного сигнала во временной области с использованием интеграла Дюамеля

$$s_2(t) = \int_{t_1}^{t_2} s_1(\tau) g_3(t - \tau) d\tau, \quad (3)$$

где  $s_1(\tau)$  — зондирующий импульс.

При определении отражательной импульсной характеристики структуру подстилающих элементарных поверхностей можно определить, используя соответствующее уравнение [3, 4]. Но при сложной структуре подстилающей поверхности возникают непреодолимые вычислительные трудности.

Определение отражательных импульсных характеристик поверхностей может быть существенно упрощено для объектов, у которых элементарную площадку можно выбрать таким образом, чтобы интересующие величины зависели бы только от координаты поверхности. Авторами настоящей статьи разработана компьютерная программа определения отражательной импульсной характеристики сложной структуры подстилающей поверхности в условиях отсутствия и наличия цели при равномерном распределении поля излучения.

Зная отражательные импульсные характеристики поверхностей при заданном зондирующем импульсе, можно определить и отраженные сигналы  $s_2(t)$ . Рассматривалась задача облучения поверхности с высоты  $H=200, 500$  и  $1000$  м (такая высота характерна при измерении наклонной дальности  $10\,000$  м с вертолетов) оптическим импульсом косинусоидальной формы (длительность  $t=10^{-8}$  с) на длине волны лазера  $\lambda=1535$  нм, с углом поля излучения  $\beta = 2'$ .

Были использованы четыре модели подстилающей поверхности при отсутствии и наличии объекта локации, в качестве которого использовался автомобиль. Коэффициенты отражения элементов подстилающей поверхности [5] приведены в таблице.

**Коэффициенты отражения элементов поверхности  
при  $\lambda=1535$  нм**

Объект	Коэффициент отражения, %
Автомобиль	18
Колеса автомобиля	22
Поле	14
Куст	20
Валун	54
Сосна	15
Канавы	10
Кедр	38
Дуб	30
Осина	20
Ива	52
Дорога	18

С учетом приведенных коэффициентов отражения получены отражательные импульсные характеристики и отражательные сигналы, представленные в Приложении.

**Заключение.** Даже на основе выбранных моделей подстилающих поверхностей идентифицировать сигнальные выбросы от объекта не представляется возможным посредством амплитудной селекции. Предпочтительным может оказаться смещение линии визирования относительно диаграммы направленности излучения с соответствующим формированием характеристик поля излучения и приема.

Отраженные сигналы, полученные с учетом отражательных импульсных характеристик, позволяют при селекции сигнального выброса от истинной цели определить энергетические потери, обусловленные отражением от подстилающей поверхности, и скорректировать требования, предъявляемые к источнику излучения.

ПРИЛОЖЕНИЕ

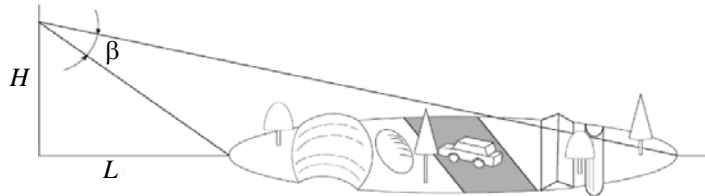
Модели подстилающих поверхностей

Автомобиль на плоском поле

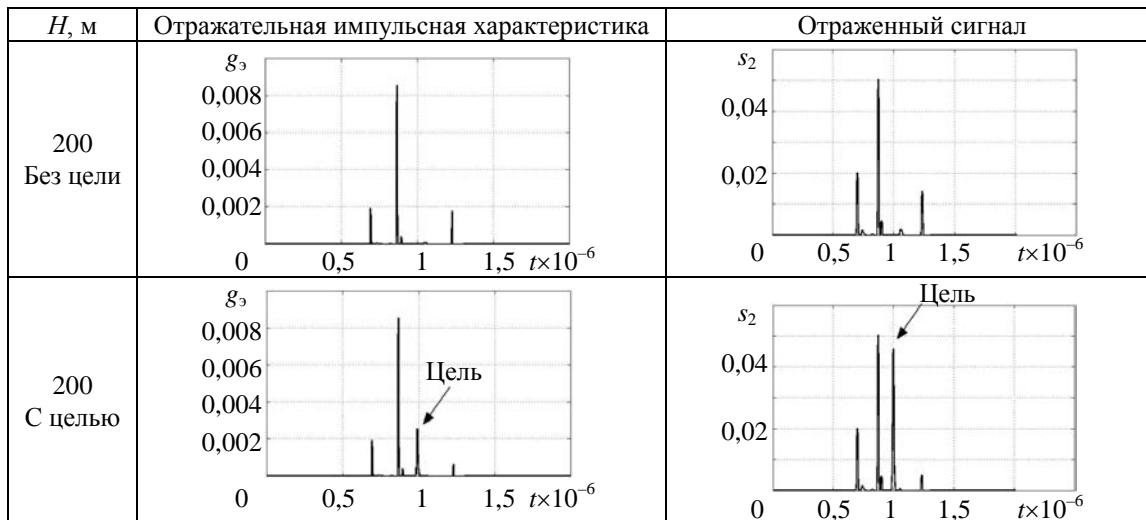


$H, \text{ м}$	Отражательная импульсная характеристика	Отраженный сигнал
500		

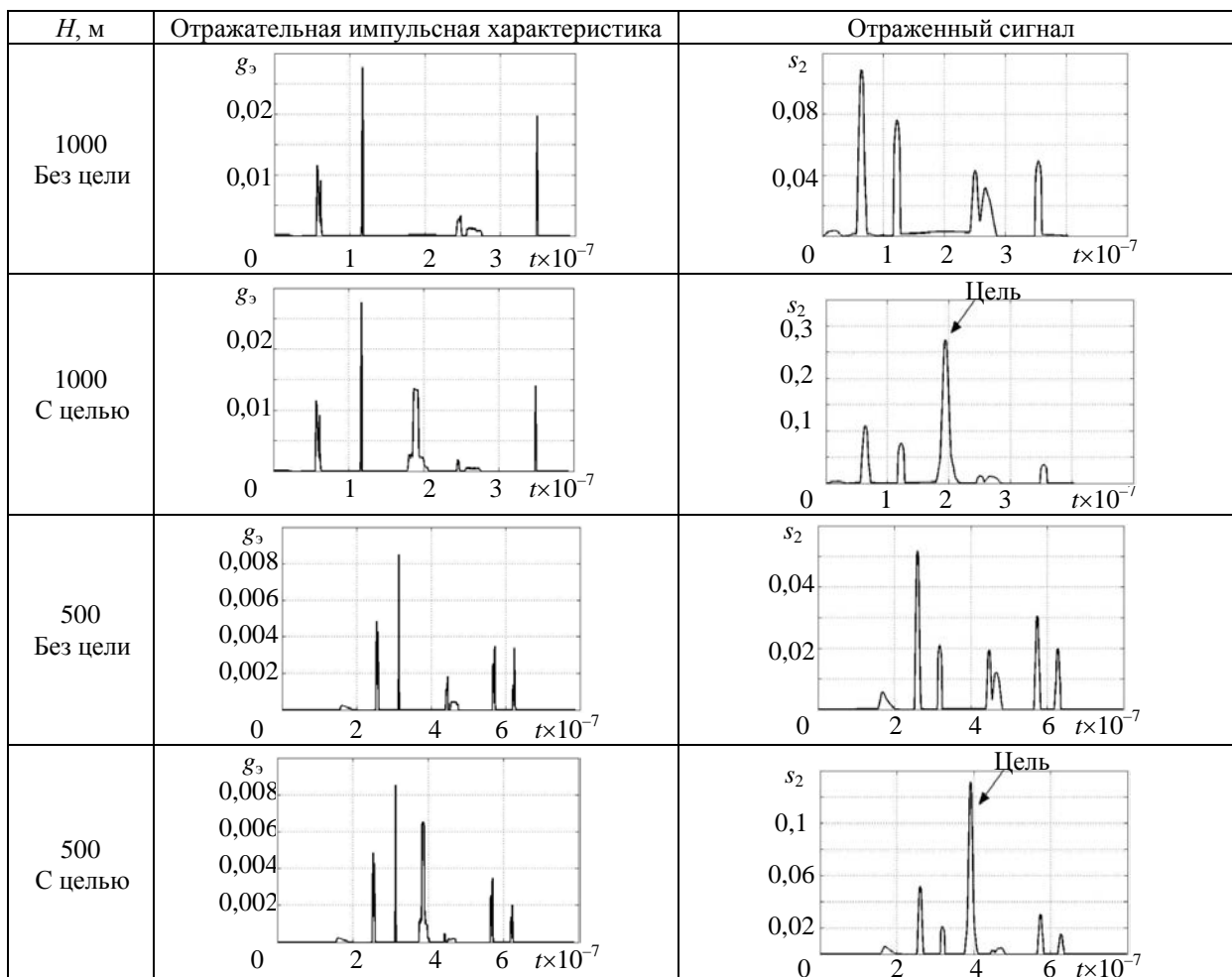
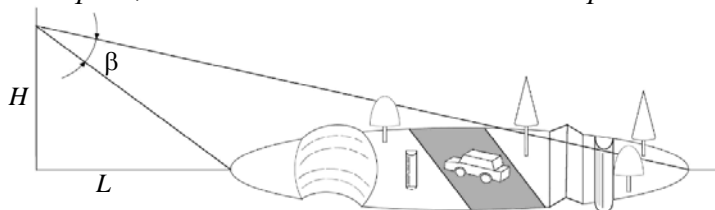
Автомобиль на дороге, дополнительные объекты на неровном поле. Модель 1



$H, \text{ м}$	Отражательная импульсная характеристика	Отраженный сигнал
1000 Без цели		
1000 С целью		
500 Без цели		
500 С целью		

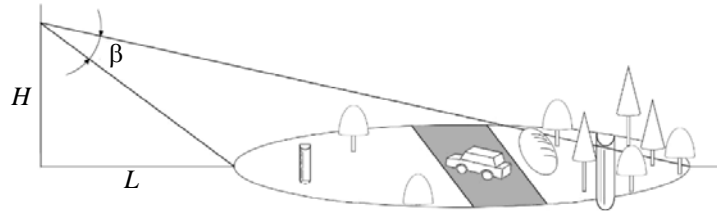


Автомобиль на дороге, дополнительные объекты на неровном поле. Модель 2

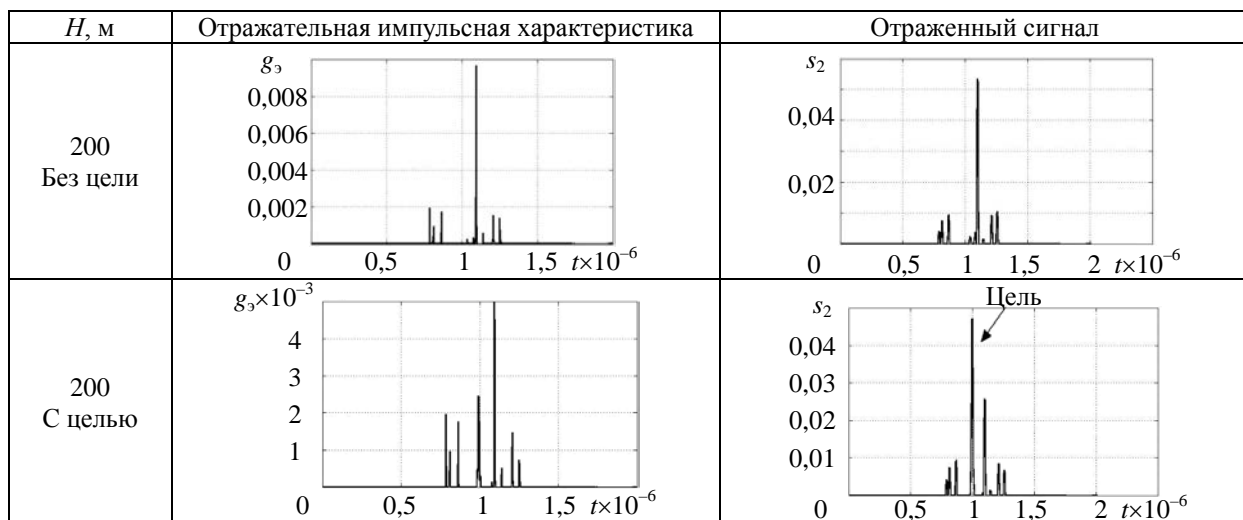


$H, \text{ м}$	Отражательная импульсная характеристика	Отраженный сигнал
200 Без цели		
200 С целью		

Автомобиль на дороге, дополнительные объекты на неровном поле. Модель 3



$H, \text{ м}$	Отражательная импульсная характеристика	Отраженный сигнал
1000 Без цели		
1000 С целью		
500 Без цели		
500 С целью		



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедько Е. Г. Системы импульсной оптической локации. СПб: Лань, 2014. 357 с.
2. Лебедько Е. Г., Порфирьев Л. Ф., Хайтун Ф. И. Теория и расчет импульсных и цифровых оптико-электронных систем. М.: Машиностроение, 1984. 192 с.
3. Нгуен Т. В., Лебедько Е. Г. Определение отражательных характеристик элементарных ламбертовых поверхностей при нестационарном облучении // Изв. вузов. Приборостроение. 2007. Т. 50, № 5. С. 63—69.
4. Нгуен Т. В., Лебедько Е. Г. Погрешность измерения радиальной протяженности поверхности при ее моноимпульсном облучении // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 5. С. 50—56.
5. U.S. Geological Survey [Электронный ресурс]: <<http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib06/ds231/datatable.html>>.

## Сведения об авторах

- Ле Дин Ву** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: ldvu81@rambler.ru
- Евгений Георгиевич Лебедько** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: eleb@rambler.ru

Рекомендована кафедрой  
оптико-электронных приборов  
и систем

Поступила в редакцию  
16.02.16 г.

**Ссылка для цитирования:** Ле Дин Ву, Лебедько Е. Г. Анализ отражательных характеристик подстилающей поверхности при измерении наклонной дальности // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 7. С. 571—577.

### ANALYSIS OF REFLECTION CHARACTERISTICS OF THE UNDERLYING SURFACE AT SLANT RANGE MEASUREMENT

Le Dinh Vu, E. G. Lebedko

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia  
E-mail: eleb@rambler.ru

Pulse response of reflective surface is considered as an exhaustive characteristic of a surface reflection under pulsed illumination. It is reported that the reflection from underlying surface may have several energy centers able to conceal actual target when slant range measurement are carried out with optical pulsed rangefinder. Pulse responses of elementary Lambertian surfaces as well as reflected signals from such surfaces are analyzed. Computer simulation is used to obtain pulse reflection characteristics of typical underlying surfaces and compare surface reflection with the signals when the target is present.

**Keywords:** reflective surface properties, pulse response of reflection surface, slant range, nonstationary illumination, sounding signal

**Data on authors**

- Le Dinh Vu** — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: ldvu81@rambler.ru
- Evgeny G. Lebedko** — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: eleb@rambler.ru

**For citation:** *Le Dinh Vu, Lebedko E. G.* Analysis of reflection characteristics of the underlying surface at slant range measurement // *Izv. vuzov. Priborostroenie*. 2016. Vol. 59, N 7. P. 571—577 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-7-571-577