

# OPTICAL AND OPTOELECTRONIC AND RADIATION SENSORS

---

## ОПТИЧНІ, ОПТОЕЛЕКТРОННІ І РАДІАЦІЙНІ СЕНСОРИ

---

---

УДК 551.510.53

DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2017.2.106605>

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА РАБОТУ ОПТИКО-ЛОКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

*В. И. Сантоний, И. А. Иванченко, Л. М. Будиянская*

*Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова  
ул. Дворянская 2, Одесса, Украина, 65082, тел. 723-34-61, e-mail: dirsony@ukr.net*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА РАБОТУ ОПТИКО-ЛОКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

*В. И. Сантоний, И. А. Иванченко, Л. М. Будиянская*

**Аннотация.** Проведен сравнительный анализ взаимодействия оптического излучения с сосредоточенной преградой и аэрозольными образованиями естественного и искусственного происхождения.

Приведены экспериментальные результаты воздействия на работу оптико-локационного устройства (ОЛУ) таких параметров аэрозольной среды, как расстояние до кромки, плотность, глубина и структура образования.

Определены критерии распознавания твердой преграды и аэрозольной помехи по таким параметрам амплитудной характеристики отраженного сигнала, как крутизна нарастания, пороговый уровень, пространственное расположение максимума и временная флуктуация.

Предложены меры защиты ОЛУ от аэрозольных помех.

**Ключевые слова:** оптико-локационное устройство, аэрозольная помеха, распознавание, амплитуда сигнала

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АЕРОЗОЛЬНИХ УТВОРЕНЬ НА РОБОТУ ОПТИКО-ЛОКАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ

*В. І. Сантоній, І. О. Іванченко, Л. М. Будіяньська*

**Анотація.** Проведений порівняльний аналіз взаємодії оптичного випромінювання із зосередженою перешкодою і аерозольними утвореннями природного і штучного походження.

Приведені експериментальні результати дії на працю оптико-локаційного пристрою (ОЛП) таких параметрів аерозольного середовища, як відстань до кромки, щільність, глибина і структура утворення.

Визначені критерії розпізнавання твердої перешкоди і аерозольної перешкоди за такими параметрами амплітудної характеристики відбитого сигналу, як крутизна наростання, пороговий рівень, просторове розташування максимуму і часова флуктуація.

Запропоновані заходи захисту ОЛП від аерозольних перешкод.

**Ключові слова:** оптико-локаційний пристрій, аерозольна перешкода, розпізнавання, амплітуда сигналу

## RESEARCH OF AEROSOL FORMATION INFLUENCE ON OPTICAL LOCATIONAL DEVICES OPERATION

*V. I. Santoniy, I. A. Ivanchenko, L. M. Budyanskaya*

**Abstract.** A comparative analysis of interaction of optical radiation with a solid obstacle and aerosol formations of natural or artificial origin was carried out.

The results of optical electronic device (OED) interfered by such parameters of aerosol environment as the distance to the edge, density, depth and structure were provided.

The criteria of solid obstacle and aerosol interference identification in accordance with such parameters of amplitude characteristics of the reflected signal as steep increase, threshold level, maximum space location and temporary fluctuation were defined.

The measures of OED protection from aerosol interference were suggested.

**Keywords:** optical electronic device, aerosol interference, identification, signal amplitude

## Введение

Аэрозольные помехи в открытом канале распространения оптического излучения относятся к числу наиболее весомых внешних воздействий на оптико-локационные устройства (ОЛУ) [1-3]. Следовательно, стабилизация или повышение точности измерений связаны с дополнительными функциональными нагрузками ОЛУ – обнаружением и распознаванием помеховых образований.

По данным [4] подавляющее большинство облаков и туманов имеет коэффициент рассеяния меньше  $0,8 \text{ м}^{-1}$ . Экспериментальные исследования свойств атмосферных оптических помех показали, что они оказывают сильное влияние на амплитудные и временные характеристики зондирующего импульса ОЛУ [5]. Дымы ослабляют световой поток в 10 раз при увеличении оптической плотности среды на 20 % [6].

В случае малых расстояний (2...5 м) увеличение концентрации водных или дымовых аэрозолей может привести в полной потере видимости. Очевидно, что обратное рассеяние световой энергии от аэрозольных образований естественного и искусственного происхождения может создавать существенную помеху для работы ОЛУ. Для оценки потенциальных характеристик ОЛУ, работающего в реальной атмосфере, требуются данные о свойствах оптических помех и степени их воздействия на полезный сигнал.

Имеющиеся сведения касаются оптико-микроразмерных параметров аэрозольных образований, измеренных методами доплеровских спектров отражения [7] и поляризационного лазерного зондирования [8]. Однако информации о строении частиц недостаточно для создания модели аэрозольного объекта, что актуализирует задачу измерения взаимодействия с ним методами, ориентированными на его объемные свойства.

## Постановка задачи

Целью настоящей работы является исследование взаимодействия оптического излучения с аэрозольными образованиями различ-

ного происхождения, определение признаков наличия аэрозольных помех и использование их для помехозащиты ОЛУ.

## Функциональное описание

Совершенствование ОЛУ предполагает сравнительный анализ сигналов, отраженных от сосредоточенной преграды и аэрозольных образований естественного или искусственного происхождения, с целью их различения. Суть анализа заключается в определении отличий регистрации фотоприемником излучения, генерированного излучателем в направлении объекта и отраженного им, и излучения, рассеянного аэрозольной средой в обратном направлении.

Соотношение между длиной линии зондирования  $l$ , рассеивающими характеристиками аэрозоля и отраженным сигналом  $P(l)$  имеет вид [9]

$$P(l) = \frac{E}{l^2} A T^2(l) \beta(l), \quad (1)$$

где  $E$  – энергия излучения импульса;

$T(l)$  – прозрачность по линии зондирования между ОЛУ и рассеивающим объемом;

$A$  – константа, определяемая параметрами приемной оптической системы и фотоприемника, а также геометрией пересечения лучей;

$\beta$  – коэффициент обратного рассеяния.

Одним из определяющих признаков при анализе отраженного сигнала ОЛУ является крутизна нарастания его амплитуды. Из (1) следует, что помеховый сигнал является медленно изменяющимся по сравнению с сигналом от преграды, что может быть эффективно использовано для их различения.

## Макет ОЛУ

В исследованиях использовался макет ОЛУ, электрическая схема которого построена на 2-канальному принципу приема-передачи (рис. 1).

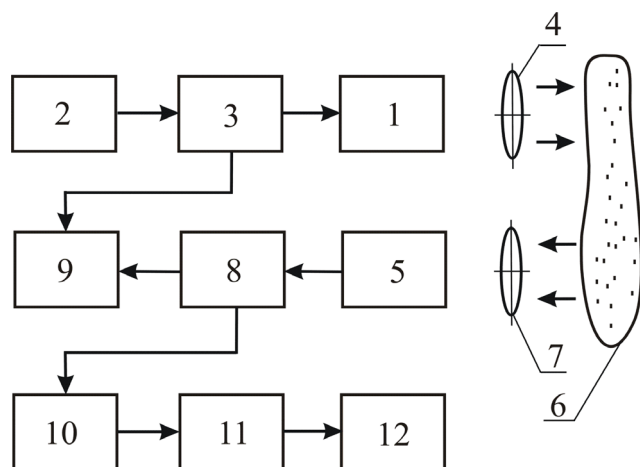


Рис. 1. Электрическая схема ОЛУ.

Передающий канал основан на GaAs-светодиоде 1 с длиной волны излучения 0,91 мкм. Излучатель 1 питается сигналом задающего генератора 2 с частотой повторения 4 кГц, поступающим через токовый ключ 3, и формирует оптические импульсы длительностью 50 нс. Импульсное ИК-излучение транслируется через передающий объектив 4 диаметром 16 мм с фокусным расстоянием 40 мм и углом расходимости  $0,76^\circ$ .

Приемный канал выполнен на базе Si-микросхемы M72, представляющей собой фотодиод с каскадом усиления. Отраженное от аэрозоля 6 излучение светодиода через приемный объектив 7, состоящий из линзы диаметром 16 мм с фокусным расстоянием 40 мм и полем зрения  $1,6^\circ$ , поступает на фотоприемник 5.

Сигнал фототовета усиливается на линейном усилителе 8 и через стробирующий каскад 9, обеспечивающий временную синхронизацию между передающим и приемным каналами, поступает на компаратор 10. Компаратор 10 осуществляет ограничение сигнала по амплитуде. Функцию помехозащиты выполняет последующее временное устройство 11, работающее в режиме накопления импульсов отраженного сигнала.

Оконечный каскад приемного канала составляет исполнительное устройство 12, формирующее электрический, акустический или световой сигнал.

Базовое расстояние между оптическими осями приемной и передающей систем составляет 100 мм.

### Экспериментальные результаты

Исследования взаимодействия оптического излучения с аэрозолями и дымами проводились в камере искусственных аэрозолей в диапазоне плотностей, включающем реальные атмосферные образования.

Исследования проводились по следующим направлениям.

1. Измерения зависимости амплитуды отраженного сигнала от прозрачности оптического канала или плотности аэрозольной помехи показали, что при возрастании концентрации аэрозольных частиц от 1 до  $5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$ , что соответствует дымам и слабым туманам, отраженный сигнал обратного рассеяния колеблется в пределах 10-100 мВ. Это на 2-3 порядка ниже, чем при отражении от поверхности со средним коэффициентом отражения  $\rho = 0,35$ .

Отсюда следует, что в данных пределах концентраций аэрозольных частиц обратное рассеяние не приводит к пороговому срабатыванию зондирующего устройства. При дальнейшем увеличении концентрации частиц до  $15 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$  сигналы, отраженные от аэрозоля и поверхности, становятся соизмеримыми. Эти результаты согласуются с расчетными и экспериментальными данными о величине аэрозольного затухания, в соответствии с которыми величина отраженной мощности меньше мощности источника излучения на 66-84 дБ [10].

Установлено, что величина мощности обратного рассеяния с ростом коэффициента ослабления аэрозоля вначале растет, а потом имеет тенденцию к спаду.

Экспериментальные временные зависимости напряжения фотодиода  $U_{\text{фд}}$ , пропорционального объемной концентрации аэрозоля (рис. 2), измерены в аэрозольной камере объемом  $1 \text{ м}^3$  при пиролизе (тлении) или сжигании древесины (кривые 1, 2) и «городской смеси» (кривые 3, 4) соответственно.

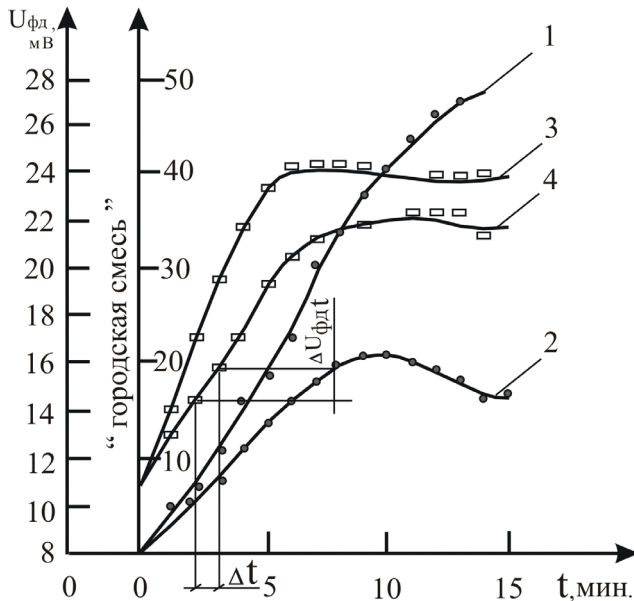


Рис. 2. Зависимости  $U_{\phi d}(t)$ : 1, 2 – дерево; 3, 4 – «городская смесь»; 1, 3 – тление (пиролиз); 2, 4 – горение.

По данным рис. 2 рост объемной концентрации аэрозоля характеризуется линейным ростом  $U_{\phi}$ . Последующие участки насыщения и спада  $U_{\phi d}$  объясняются процессами коагуляции частиц и агрегатообразования, которые выражаются в мнимом усреднении концентрации частиц, и повышением доли поглощательных процессов.

2. Исследование зависимости амплитуды помехового сигнала от расстояния до кромки аэрозольной среды показало, что четкую границу аэрозоля устройство не регистрирует (рис. 3). При малых значениях коэффициента рассеяния крутизна нарастания сигнала, отраженного от сосредоточенной преграды, (кривая 1) существенно выше, чем помехового сигнала от аэрозоля (кривые 2, пар, 3, дым). Отраженный от аэрозоля сигнал формируется, в основном, на расстоянии 3 м и при  $\beta = 0,05 \div 0,4 \text{ м}^{-1}$  содержит экстремальную область на дальностях  $1 \div 1,5 \text{ м}$ .

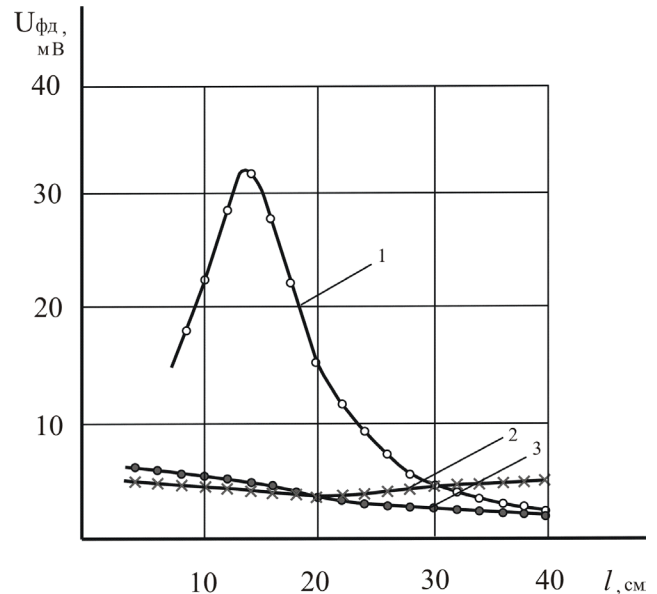


Рис. 3. Зависимости амплитуды отраженного сигнала от расстояния до кромки облачности.

3. Экспериментально определялись глубины области аэрозольных образований, способных сформировать сигнал порогового уровня в ОЛУ приведенной структуры. Высокая чувствительность фотоприемника ( $\sim 10^{-8} \text{ Вт}$ ) определяет порог срабатывания ОЛУ, что соответствует оптической плотности аэрозоля не более 5 %.

Геометрические параметры аэрозольной помехи, способной вызвать сбой в работе ОЛУ, составляют 3 м для естественных облачных покровов и сокращаются до 0,35 м в искусственных образованиях. Эти величины имеют определяющее значение при построении оптико-электронных схем распознавания метеообразований и реальных предметов.

4. Исследование структуры отраженного сигнала ориентировалось на различие сосредоточенной преграды и аэрозольной среды. Локационный контраст преграды на фоне или в среде аэрозольных образований определяется динамическими параметрами последней (плотность, коэффициент рассеяния, его градиент и пр.) [11].

Известно [4], что сигнал от сосредоточенной преграды является нефлуктуирующим процессом. При описании структуры помехового сигнала от однородной облачности

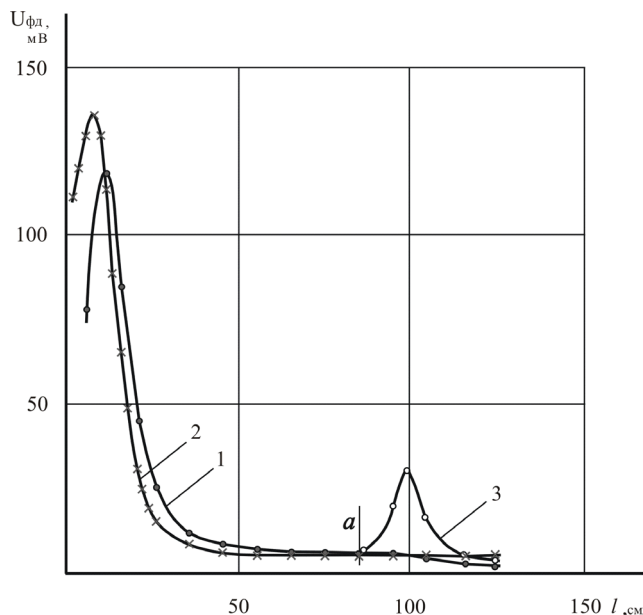


существуют противоречия, в соответствии с которыми этот сигнал может быть представлен одновременно в виде **флуктуирующего и нефлуктуирующего процесса**, что подтверждается результатами практических исследований [10]. Поэтому точное описание статистической структуры помехового сигнала, в том числе для реальной облачности, можно получить при непосредственных испытаниях конкретного образца ОЛУ.

Анализ результатов исследования сигнала, отраженного аэрозолями, показал, что его амплитуда флуктуирует во времени с частотой 0,5-10 Гц. Исходя из этого, наиболее близкой представляется модель взаимодействия сигналов с аэрозольной средой, учитывающая влияние на процессы рассеяния флуктуации динамических параметров среды.

При скоростях движения до 30 м/с и величине глубины отражений аэрозоля 1,0-1,5 м, существующего в реальной атмосфере, частота флуктуаций амплитуды отраженного сигнала достигает  $2,5 \div 5$  кГц. Соответственно период осцилляций амплитуды составляет  $0,4 \div 0,2$  мс. Очевидно, что флуктуации амплитуды отраженного сигнала, связанные с движением, могут быть использованы для построения защиты ОЛУ от помех, создаваемых обратным рассеянием.

О характере зависимости величины полезного сигнала фотоприемного устройства от наличия аэрозольных помех можно судить по экспериментальным кривым рис. 4. Они представляют **дистанционные характеристики ОЛУ**, работающего в задымленной атмосфере (кривая 1) с координатой  $a$  границы образования и в чистой атмосфере (кривая 2). Очевидно, что аэрозольная помеха влияет как на амплитуду отраженного сигнала, так и на пространственное положение его максимума, что может послужить причиной ложного срабатывания устройства.



**Рис. 4. Дистанционные зависимости полезного сигнала ОЛУ: 1 – в дыму; 2 – в чистой атмосфере; 3 – от черного экрана.**

Кривая 3, представляющая зависимость сигнала, отраженного экраном с  $\rho = 0,05$ , подтверждает существенные различия в характере отражения световых потоков аэрозольными и непрерывными препятствиями, что пригодно как признак для их различения.

### Выводы

1. Определен диапазон значений плотности аэрозольной среды, в пределах которого обратное рассеяние не приводит к пороговому срабатыванию ОЛУ.

2. Определяющими признаками наличия аэрозольной среды является крутизна нарастания помехового сигнала, которая значительно ниже, чем от преграды, и флуктуации амплитуды отраженного сигнала, связанные с движением ОЛУ.

3. Установлена зависимость между чувствительностью фотоприемника ОЛУ, определяющей порог срабатывания, и глубиной области аэрозольных образований, способных сформировать сигнал порогового уровня.

4. Определены возможности защиты ОЛУ от действия аэрозольных помех.

**Список использованной литературы**

- [1]. Yu. G. Yakushenkov, V. N. Lukancev, M. P. Kolosov. Metody borby s pomехami v optiko-elektronnyh priborah. Radio i svyaz, M. 180 s. (1981) (*in Russian*).
- [2]. V. V. Protopopov, N. D. Ustinov. Infrakrasnye lazernye lokacionnye sistemy. Voenizdat, M. 175 s. (1987) (*in Russian*).
- [3]. V. E. Zuev, V. Ya. Fadeev. Lazernye navigacionnye ustrojstva. Radio i svyaz, M. 160 s. (1987) (*in Russian*).
- [4]. V. E. Zuev, M. V. Kabanov. Optika atmosfernogo aerolya. Gidrometeoizdat, L. 254 s. (1987) (*in Russian*).
- [5]. Opticheskaya pogoda / V. E. Zuev, B. D. Belan, G. O. Zadde. Nauka, Sib. Otdelenie, Novosibirsk. 192 s. (1990) (*in Russian*).
- [6]. Optika pyledymovyh oblakov pri dvizhenii obektov bronetankovoj tehniky / G. A. Barsukov, I. A. Mogilyuk, V. V. Sadchikov, A. V. Serebryakov, T. A. Smirnova, Yu. G. Toporkov; Pod obsh. red. Yu. G. Toporkova. NTC «Infortehnika», M. 152. (1993) (*in Russian*).
- [7]. A. R. Nasyrov, V. V. Sadchikov. Doplerovskaya lokaciya avtotransporta, dvizhushego v pyl'evom oblake // Opticheskij zhurnal, №2, s 33-36 (1994) (*in Russian*).
- [8]. V. E. Zuev, B. V. Kaul, I. V. Samohvalov i dr. Lazernoe zondirovanie industrialnyh aerolyej. Nauka, Novosibirsk. 185 s. (1986) (*in Russian*).
- [9]. S. P. Belyaev, N. K. Nikiforova, V. V. Smirnov, G. I. Shelchikov. Optiko-elektronnye metody izucheniya aerolyej. Energoizdat, M. 232 s. (1981) (*in Russian*).
- [10]. M. P. Musyakov, I. D. Micenko, G. G. Vaneev. Problemy blizhnej lazernoj lokacii. Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana, M. 296 s. (2000) (*in Russian*).
- [11]. A. R. Nasyrov and V. V. Sadchikov. Ranging contrasts of objects moving in dust clouds // J. Opt. Technol., 70 (2), pp. 85-87 (2003).

Стаття надійшла до редакції 02.12.2016 р.

UDC 551.510.53

DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2017.2.106605>

## RESEARCH OF AEROSOL FORMATION INFLUENCE ON OPTICAL LOCATIONAL DEVICES OPERATION

*V. I. Santoniy, I. A. Ivanchenko, L. M. Budiyanskaya*

Mechnikov's Odessa National University  
st. Dvoryanska, 2, Odessa, Ukraine, 65082, тел. 723-34-61, e-mail: dirsony@ukr.net

### Summary

This work is aimed at investigating the interaction of optical radiation with aerosol formations of various origin, determining the aerosol interference signs and using them for interference immunity.

The research method basis is the relationship between the amplitude of the reflected signal and the aerosol scattering characteristics, as well as the length of the sensing line.

The investigations were carried out in a chamber of artificial aerosols in the density range including real atmospheric formations.

In the studies we used OED model whose electrical circuit was built on a 2-channel transmit-receive principle. The transmission channel is based on a GaAs-LED with a radiation wavelength of

0.91  $\mu\text{m}$ . The receiving channel is made on the Si-microcircuit M72 basis, which is a photodiode with an amplification cascade.

The measured dependences of the reflected signal amplitude on the aerosol interference density showed that at a reflected power value of less than the radiation source power, no OED threshold triggering occurs at 66-84 dB.

The dependence of the reflected signal amplitude on the distance to the aerosol environment edge showed that there is no clear aerosol boundary detection, but an interference signal is formed at a distance determined by the backscattering radiation coefficient. The threshold signal detection by the photodetector was used to determine the depth of the aerosol formations location, which could cause OED failure.

The OED amplitude characteristic research during motion in an aerosol environment showed the presence of density fluctuations that cause amplitude oscillations.

The result of this work is the determination of the value range of the aerosol environment density, in which the radiation backscattering does not lead to the OED threshold triggering. The signs of the aerosol environment presence are identified as the increase steepness in the interference signal and the fluctuations in the reflected signal amplitude with respect to the OED motion are low relative to the obstacle.

The relationship between the OED detector threshold and the area depth of aerosol formations is established.

The work results make it possible to form interference immunity methods from the aerosol formations effects.

**Keywords:** optical electronic device, aerosol interference, identification, signal amplitude

УДК 551.510.53

DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2017.2.106605>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АЕРОЗОЛЬНИХ УТВОРЕНЬ НА РОБОТУ ОПТИКО-ЛОКАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ

*В. І. Сантоній, І. О. Иванченко, Л. М. Будіяньська*

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,  
вул. Дворянська, 2, Одеса, Україна, 65082, тел. 723-34-61, e-mail: dirsony@ukr.net

### Реферат

Метою роботи є дослідження взаємодії оптичного випромінювання з аерозольними утвореннями різного походження, визначення ознак наявності аерозольних перешкод і використання їх для перешкодозахисту оптико-локаційного пристрою (ОЛП).

В основу методу дослідження покладено співвідношення між амплітудою відбитого сигналу і розсіювальними характеристиками аерозоля, а також довжиною лінії зондування. Дослідження проводилися в камері штучних аерозолів у діапазоні щільностей, що включає реальні атмосферні утворення.

У дослідженнях використовувався макет ОЛП, електрична схема якого побудована по 2-канальному принципу прийому-передачі. Передавальний канал ґрунтований на GaAs-світлодіоді



з довжиною хвилі випромінювання 0,91 мкм. Приймальний канал виконаний на базі Si-мікросхеми M72, що є фотодіодом з каскадом посилення.

Виміряні залежності амплітуди відбитого сигналу від щільності аерозольної перешкоди показали, що при величині відбитої потужності меншої потужності джерела випромінювання на 66-84 дБ порогового спрацьовування ОЛП не відбувається.

Залежність амплітуди відбитого сигналу від відстані до кромки аерозольного середовища показала, що чіткої реєстрації межі аерозолю не відбувається, але на відстані, визначуваній коефіцієнтом зворотного розсіювання випромінювання, формується перешкодовий сигнал.

Методом реєстрації фотоприймачем порогового сигналу визначалася глибина області аерозольних утворень, здатна викликати збій в роботі ОЛП.

Дослідження амплітудної характеристики ОЛП при русі в аерозольному середовищі показало наявність флуктуацій щільності, що викликають осциляції амплітуди.

Результатом роботи є визначення діапазону значень щільності аерозольного середовища, в якому зворотне розсіювання випромінювання не приводить до порогового спрацьовування ОЛП. Виділені ознаки наявності аерозольного середовища – низька відносно перешкоди крутість наростання перешкодового сигналу і флуктуації амплітуди відбитого сигналу при русі ОЛП.

Встановлений взаємозв'язок порогу спрацьовування фотоприймача ОЛП із глибиною області аерозольних утворень.

Результати роботи дозволяють сформулювати методи перешкодозахисту від дії аерозольних утворень.

**Ключові слова:** оптико-локаційний пристрій, аерозольна перешкода, розпізнавання, амплітуда сигналу