

что подтверждает возможность распознавания объектов по их ДП. Аналогично случаю с плоскостью, дальностный портрет сферы при наличии дыма сильно отличается от ДП, полученного в однородной атмосфере. При увеличении протяженности дыма форма сигнала изменяется, он уширяется, и постепенно начинает разделяться на два сигнала. В этом случае сложно определить, что исследуемый объект – сфера. Можно заметить, что по сравнению с плоскостью вторая часть сигнала имеет большую амплитуду. Это объясняется геометрией объектов.

Локальные неоднородности среды сильно искажают дальностный портрет, что может привести к ошибкам распознавания. Но знания об этих влияниях позволяет повысить точность распознавания.

УДК 551.508.762

### АЛГОРИТМ КОРРЕКЦИИ АМПЛИТУДНЫХ ПРОФИЛЕЙ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ЗОНДИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛИДАРАХ-ОБЛАКОМЕРАХ

Назаренко П.Н.

*ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** В работе описан алгоритм коррекции амплитудных профилей эхосигнала, регистрируемых биаксиальными метеолидарами. Применение описанного алгоритма позволяет исключить влияние на измеряемые профили коэффициента обратного рассеяния таких факторов как квадрат расстояния, зона неполного перекрытия лазерного пучка и поля зрения приемного канала лидара, неопределенность начала отсчета высоты трассы, другие аппаратные амплитудные и временные параметры прибора. Проводится обсуждение полученных результатов.

**Ключевые слова:** лидарное уравнение, профиль коэффициента обратного рассеяния, опорный амплитудный профиль.

### ALGORITHM FOR CORRECTION OF AMPLITUDE PROFILES OF BACKSCATTERING OF PROBING RADIATION IN LIDARS-CEILOMETERS

Nazarenko P.

*SSPA "Optics, Optoelectronics and Laser Technology"  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** The paper describes an algorithm for correcting the amplitude profiles of the echo signal recorded by biaxial meteorological radars. The use of the described algorithm makes it possible to exclude the influence on the measured profiles of the backscattering coefficient of such factors as the square of the distance, the zone of incomplete overlap of the laser beam and the field of view of the lidar receiving channel, the uncertainty of the reference height of the path, and other hardware amplitude and time parameters of the device. The results obtained are discussed.

**Key words:** lidar equation, backscatter coefficient profile, reference amplitude profile.

*Адрес для переписки: Назаренко П.Н., пр. Независимости, 78-54, г. Минск, 220012, Республика Беларусь  
e-mail: nprn05@mail.ru*

Существующие методы измерения профилей коэффициента обратного рассеяния атмосферы лидарами-облакомерами основаны на преобразовании регистрируемых амплитудных профилей эхосигнала в профили коэффициента обратного рассеяния по методу обращения лидарного уравнения [1] с предварительной обработкой получен-

### Литература

1. Алгоритм лазерной локации и распознавания объектов по трехмерному изображению / В.Н. Легкий [и др.] // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 8. – С. 146–152.
2. Le, H. Semiconductor Laser Multi-Spectral Sensing and Imaging / H. Le, Y. Wang // Sensors (Basel, Switzerland). – 2010. – Vol. 10.
3. Баулин, Ф.Б. Проблемы формирования систем, обеспечивающих автоматическое распознавание объектов по дальностным портретам / Ф.Б. Баулин, Е.В. Бурый // Компьютерная оптика. – 2019. – 43, № 1. – С. 5–13.
4. Mathar, R.J. Refractive index of humid air in the infrared: model fits / R.J. Mathar // Journal of Optics A: Pure and Applied Optics. – 2007. – Vol. 9, № 5. – P. 470–476.
5. Co-path full-waveform LiDAR for detection of multiple along-path objects / D. Li [et al.] // Optics and Lasers in Engineering. – 2018. – Vol. 111. – P. 211–221.

ного массива данных: вычитания фона, нормировки на квадрат расстояния, нормировании на геометрический фактор [2; 3].

Относительный метод измерения профилей коэффициента обратного рассеяния, предложенный в [4], позволяет нормирование амплитудных профилей на квадрат расстояния и геометриче-

ский фактор заменить на нормирование на амплитудный профиль опорного сигнала. Уравнение профиля коэффициента обратного рассеяния  $\beta_{из}(z)$  приобретает вид:

$$\beta_{из}(z) = \frac{\left[ \frac{\alpha_0}{S_0} \cdot F(z) \right]}{\left[ (\exp[2\alpha_0 z]) \times \left[ \times (1 - 2\alpha_0 \frac{S_{из}}{S_0} \int_0^z (F(z) \exp[-2\alpha_0 z] dz) \right] \right]} \quad (1)$$

где  $\alpha_{из}(z)$  и  $\alpha_0$  – коэффициенты экстинции на высоте  $z$  измеряемой и опорной трассы;  $S_{из}(z)$  и  $S_0(z)$  – лидарные отношения на высоте  $z$  измеряемой и опорной трассы;  $z$  – высота;  $F(z)$  – относительная функция профиля мощности обратно рассеянного излучения. Описывается выражением:

$$F(z) = \frac{P_{из}(z) - P_{физ}}{P_0(z) - P_{фо}} \quad (2)$$

где  $P_{из}(z)$  и  $P_0(z)$  – мощности обратно рассеянного измеряемого и опорного излучения на высоте  $z$ , соответственно;  $P_{физ}$  и  $P_{фо}$  – мощности фоновой засветки на измеряемой и опорной трассах, соответственно.

Алгоритм коррекции (расчета) атмосферного профиля коэффициента обратного рассеяния по методу [5] состоит из последовательности действий, представленных ниже:

1. Определение метеорологической оптической дальности (МОД) и, соответственно, коэффициента экстинции атмосферы  $\alpha_0^*$  на момент регистрации опорного профиля эхосигнала по данным метеорологических станций или по данным нефелометров, работающих совместно с облакомером.

2. Измерение и формирование массива данных результатов измерений за период наблюдения мощности оптического эхосигнала для опорной атмосферной трассы  $M_1 (P_0(1), \dots, P_0(i), \dots, P_0(n))$ . Число используемых ячеек памяти  $n$  равно отношению  $z_{max}/\Delta z = 2000$ , где  $z_{max} = 10\,000$  м – верхняя точка диапазона измерений (максимальная высота);  $\Delta z = 5$  м – интервал дискретизации измерений по высоте. Порядковый номер ячейки  $i$  соответствует определенному значению  $P_0(i)$ , где  $i$  – номер отсчета.

3. Создание нового массива  $M_1^*(P_0^*(1), \dots, P_0^*(i), \dots, P_0^*(n))$  из массива  $M_1$  посредством его вычитания из данных  $P_0(i)$  фоновой засветки, определяемой как:

$$P_{фо} = (\sum_{n=400}^n P_0(i))/400. \quad (3)$$

Новые данные, входящие в массив  $M_1^*$ , определяются выражением:

$$P_0^*(i) = P_0(i) - P_{фо}. \quad (4)$$

4. Определение метеорологической оптической дальности (коэффициента экстинции  $\alpha_{из}^{**}$ ) атмосферы на момент регистрации измеряемого профиля эхосигнала по данным метеорологических станций или по данным нефелометров, работающих совместно с облакомером.

5. Измерение и формирование скользящего массива данных результатов измерений за период наблюдения мощности оптического эхосигнала для опорной атмосферной трассы

$$M_2 (P_{из}(1), \dots, P_{из}(i), \dots, P_{из}(n)).$$

Число используемых ячеек памяти  $n$  равно отношению  $z_{max}/\Delta z$ , где  $z_{max}$  – верхняя точка диапазона измерений (максимальная высота);  $\Delta z = 5$  м – разрешающая способность по дальности. Порядковый номер ячейки соответствует определенному значению  $P_{из}(i)$ .

6. Создание нового массива

$$M_2^* (P_{из}^*(1), \dots, P_{из}^*(i), \dots, P_{из}^*(n))$$

из массива  $M_2$  посредством вычитания из данных  $P_0(i)$  фоновой засветки, определяемой как:

$$P_{физ} = (\sum_{n=400}^n P_{из}(i))/400. \quad (5)$$

Новые данные, входящие в массив  $M_1^*$ , определяются выражением:

$$P_{из}^*(i) = P_{из}(i) - P_{физ}. \quad (6)$$

7. Создание нового массива

$$M_3 (F(1), \dots, F(i), \dots, F(n))$$

из массивов  $M_1^*$  и  $M_2^*$ , где  $F(i)$  рассчитываются по формуле:

$$F(i) = \frac{P_{из}(i) - P_{физ}}{P_0(i) - P_{фо}}. \quad (7)$$

8. Создание нового массива

$$M_4 (I(1), \dots, I(i), \dots, I(n))$$

из массива  $M_3$ , где  $I(i)$  рассчитывается по формуле:

$$I(i) = \Delta z \sum_1^i F(i) \exp(-2\alpha_0^{**}(i-1)\Delta z). \quad (8)$$

9. Определение порогового числа отсчетов  $i_{пор}$ , выше которого разность последующих значений интеграла и его порогового значения  $(I(i_{пор} + 1, \dots, n) - I(i_{пор}))$  равна нулю или меньше допуска  $\delta$ . Допуск  $\delta$  задается индивидуально для каждого прибора в процессе наладки на уровне  $\pm 0,05 \dots 0,1 I(i_{пор})$ . При условии  $I(i + 1, \dots, n) - I(i) \geq \delta$  вертикальная видимость не рассчитывается.

10. Определение отношения  $S_{из}/S_0$  в соответствии с уравнением:

$$(S_{из} / S_0)^{**} = \frac{\alpha_{из}^{**}}{\alpha_0^{**} F(i^*)}. \quad (9)$$

где  $F(i^*)$  – среднее значение  $F(i^*)$  для отсчетов от 1 до  $i^*$ , соответствующих высотам от 0 до  $z^*$ ;

11. Создание массива коэффициентов обратного рассеяния измеряемого атмосферного профиля  $M_5 (B_{из}(1), \dots, B_{из}(i), \dots, B_{из}(n))$  из массива  $M_4$ , где  $B(i)$  рассчитываются как:

$$B(i) = \frac{\left(\frac{\alpha_0^{**} F(i)}{S_0}\right)}{[(\exp[2\alpha_0^{**} z])(1 - 2\alpha_0^{**} I(i)(S_{из}/S_0))]} \cdot (10)$$

Определение нижней границы облаков, положения атмосферных пиков облаков, вертикальной видимости при необходимости.

УДК 535.3

### ДИХРОИЧНОЕ ЗЕРКАЛО В ПРИБОРЕ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

Неваев А.Е., Войтов А.С.

ГБПОУ «Новосибирский авиационный технический колледж имени Б.С. Галушчака»  
Новосибирск, Российская Федерация

**Аннотация.** Приборы ночного видения уже несколько десятилетий занимают важную роль в оптическом приборостроении. В данной работе представлено усовершенствование оптической схемы за счет использования дихроичного зеркала.

**Ключевые слова:** приборы ночного видения, дихроичное зеркало.

### DICHROIC MIRROR IN NIGHT VISION DEVICES

Nevaev A., Voitov A.

GBPOU "Novosibirsk Aviation Technical College named after. B.S. Galushchak"  
Novosibirsk, Russian Federation

**Abstract.** Night vision devices have played an important role in optical instrumentation for several decades. This paper presents an improvement in the optical design through the use of a dichroic mirror.

**Key words:** night vision devices, dichroic mirror.

Адрес для переписки: Неваев А.Е., ул. Красный проспект, 70, г. Новосибирск, 630091, Российская Федерация  
e-mail: SashkaNeway@gmail.com

**Цели.** Исследование дихроичного зеркала в приборах ночного видения. Перспективы его использования.

**Введение.** Дихроичное зеркало представляет собой стеклянную подложку с нанесенной многослойной диэлектрической структурой, которая за счет эффекта интерференции отражает только одну длину волны рисунок 1.

**Основная часть.** Дихроичное зеркало в приборе ночного видения – важный компонент, отвечающий за обеспечение оптимальной передачи и отражения световых волн при использовании данного прибора. Эта технология позволяет получить высококачественное изображение в условиях слабой освещенности или полной темноты.

Основным принципом работы дихроического зеркала является использование его свойства пропускать или отражать световые волны в зависимости от их определенной длины. Таким образом, с помощью данного зеркала удастся отфильтровать или усилить нужные кусочки электромагнитного спектра.

### Литература

1. Klett, J.D. Stable analytical inversion solution for processing lidar returns / J.D. Klett // Applied Optics. – 1981. – Vol. 20, № 2. – P. 211–220.
2. Determination of overlap in lidar systems / J. Vande Hey [et al.] // Applied Optics. – 2011. – Vol. 50, № 7. – P. 5791–5797.
3. Analytical function for lidar geometrical compression form-factor calculations / Kamil Stelmaszczyk [et al.] // Applied Optics. – 2005. – Vol. 44, № 7. – P. 1323–1331.
4. Относительный метод калибровки одноволновых биаксиальных аэрозольных метеолидаров / В.И. Беляковский [и др.] // Опто-, микро и СВЧ-электроника: сб. ст. 11 Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 21–23 сент. 2022). – 2022. – С. 130–137.

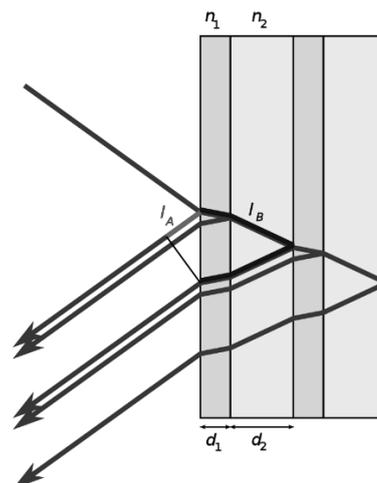


Рисунок 1 – Принцип работы интерференционного зеркала:  $n_1$  – тонкие слои материала с более высоким показателем преломления;  $n_2$  – толстые слои с меньшим показателем преломления;  $l_A$  и  $l_B$  – оптические длины пути