

Е.Б. Беляев, А.И. Исакова, Ю.Д. Копытин, В.В. Носов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ «SEAE» ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Представлены примеры использования компьютерной системы «SEAE», предназначенной для оперативного прогноза и учета влияния всей совокупности линейных оптических эффектов в реальной атмосфере на точностные и энергетические характеристики лидарных систем: поправка на дальность и угол рефракции, ослабление оптического излучения на трассе, интенсивность рассеянного назад излучения на апертуре приемной системы, уровень засветки приемного канала от естественных источников помех, статистические характеристики оптических пучков, обусловленных влиянием турбулентности.

Введение

На территории базирования мировых телескопов, космодромов находится большое число лазерных и оптико-навигационных устройств. Среди них лазерные дальнометры, оптические рефрактометры, телевизионные системы мониторинга атмосферы, работающие в видимом и ИК-области спектра, системы оптической навигации и прицеливания и др. Данные этих устройств используются в информационных системах принятия решений при запуске ракет-носителей. Для точной работы таких оптических систем необходима оперативная информация о влиянии реальной атмосферы на точностные и энергетические характеристики используемых оптико-электронных приборов.

В статье представлены примеры использования компьютерной системы «SEAE» [1,2], предназначенной для оперативного получения прогноза и учета влияния всей совокупности линейных оптических эффектов в реальной атмосфере на точностные и энергетические характеристики лидарных систем. Система «SEAE» выгодно отличается от известных программных продуктов (LOWTRAN, HITRAN, GEISA, LARA) возможностью учета различных оптических эффектов, не учитываемых с помощью упомянутых выше пакетов программ.

Программа «SEAE» позволяет рассчитывать следующие параметры: 1) поправку на дальность и угол рефракции при распространении лазерного и оптического излучения видимого и ИК-диапазонов в атмосфере на наклонных и горизонтальных трассах; 2) ослабление оптического излучения на трассе при двойном проходе; 3) интенсивность рассеянного назад излучения на апертуре приемной системы; 4) уровень засветки приемного канала от естественных источников помех (рассеянное солнечное излучение и тепловое излучение подстилающей поверхности и атмосферы); 5) статистические характеристики оптических пучков, обусловленных влиянием турбулентности.

Результаты расчетов вышеперечисленных параметров получены для различных типов оптической погоды, различного географического положения локатора, сезона года и времени суток, с учетом влияния подстилающей поверхности и других факторов. Расчеты производились на основе моделей [3, 4] для различных синоптических ситуаций.

Пример использования компьютерной системы для оперативных оценок точностных и энергетических характеристик лидарных систем

1. Известно, что явление рефракции в земной атмосфере и изменение скорости распространения сигнала вдоль траектории луча при работе дальнометрических устройств приводят к ошибкам в определении истинных угла места и дальности наблюдаемого объекта [5–8]. Поэтому вычисление поправки на дальность и угол рефракции особенно важно при получении оценок влияния атмосферы на распространение оптического излучения.

В зависимости от требуемой точности и оперативности учета рефракционных поправок в компьютерной системе «SEAE» задается приближенный вертикальный профиль показателя преломления или метеорологических величин, его определяющих: плотность, давление, температура, градиент температуры. В компьютерной системе, с целью получения более точных поправок на дальность и угол рефракции, предусмотрено задание вертикальных профилей метеорологических величин для различных времен года, времени суток, климатических зон Земли. Используемые алгоритмы определения поправки на дальность и угол рефракции реализованы с учетом местоположения лоатора, угла наблюдения.

Для реальной синоптической ситуации: время суток – день, тип оптической погоды – дымка, местоположение лоатора над поверхностью от 0,02 до 10 км, угол наблюдения 20°, длина волны $\lambda = 10,6$ мкм и дальность видимости – 13 км, произведен расчет зависимости поправки на дальность от дистанции и высоты лоатора.

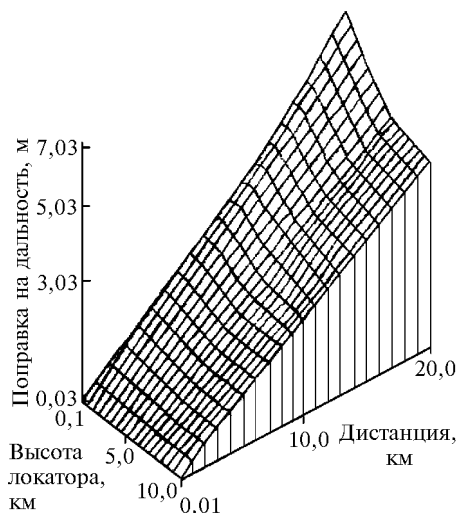


Рис. 1

Рис. 1 демонстрирует достаточно плавный ход зависимости поправки на дальность от исходных параметров. Для поправки на угол рефракции получена аналогичная зависимость от дистанции и высоты лоатора.

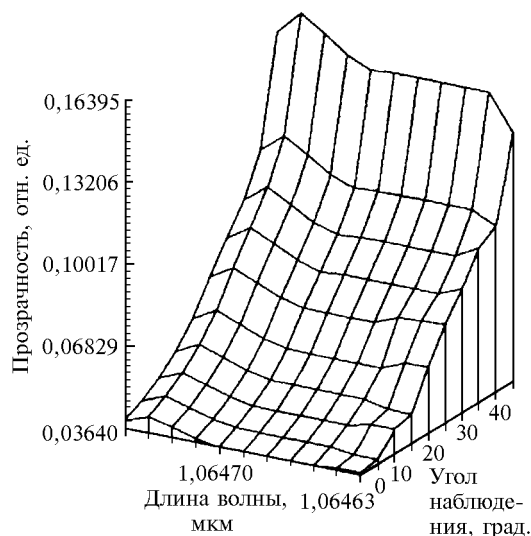


Рис. 2

2. Оценки ослабления оптического излучения за счет молекулярного поглощения на наклонных и горизонтальных трассах требуют знания распределения метеопараметров. В диало-

говой системе «SEAE» предусмотрен расчет высотного профиля коэффициента молекулярного ослабления и оптической толщи в зависимости от длины волны излучения, географической зоны, сезонных и суточных изменений метеопараметров в атмосфере на основе банка данных профилей давления, температуры, влажности и концентрации газов [9,10].

Для аналогичной синоптической ситуации: время суток – день, тип оптической погоды – дымка, местоположение локатора над поверхностью 10 м и дальность видимости 13 км – произведена оценка *прозрачности атмосферы при двойном проходе по трассе* для участка длин волн в диапазоне от 1,06463 до 1,06475 мкм с углами наблюдения от 0 до 45° (рис. 2). Из рисунка видно, что используемая (достаточно подробная для молекулярного поглощения) база данных позволяет рассчитывать молекулярное поглощение лазерного излучения в окнах прозрачности атмосферы.

На рис. 3 приведены результаты расчетов для *среднего значения по трассе коэффициента ослабления* для синоптической ситуации, аналогичной рис. 2, для того же диапазона длин волн, но при других параметрах трассы (высота локатора 10 км, угол наблюдения от –30 до +45°). Особенно заметно влияние тонкой структуры спектра поглощения на ослабление лазерного излучения, приводящее к сложному виду зависимости коэффициента ослабления от длины волны и угла наблюдения.

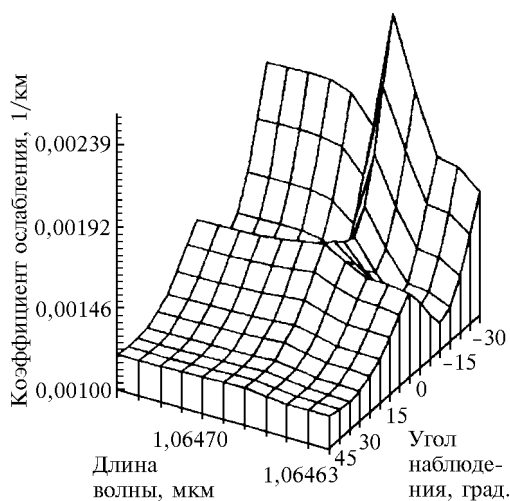


Рис. 3

3. Для вычисления *интенсивности рассеянного назад излучения*, падающего на плоскость апертуры приемника, необходимо умножить значение импульсной переходной характеристики (ИПХ) на энергию импульса. Для расчета ИПХ $I(t)$ в зависимости от времени прихода рассеянного назад оптического излучения использовалась следующая формула (угол рассеяния $\beta = \pi$):

$$I(t) = c \beta_{\pi}(h) T_a / (2t^2),$$

где t – время прихода рассеянного излучения; c – скорость света; $\beta_{\pi}(h)$ – объемный коэффициент обратного рассеяния на высоте h ; T_a – пропускание, обусловленное ослаблением излучения атмосферным аэрозолем и молекулярным рассеянием и поглощением на двойной длине трассы. Зависимость ослабления излучения T_a от длины волны и угла наблюдения приведена на рис. 2.

4. При определении предельной дальности видения, обнаружения и распознавания объектов необходима оценка уровня засветки приемного канала от естественных источников фоновых засветок и помех, так как фоновые помехи снижают яркостный контраст наблюдаемого объекта и уменьшают динамический диапазон приемного тракта. Источники фонового излучения зависят от координат Солнца и направлений наблюдения, рабочего диапазона длин волн, оптико-метеорологической обстановки, сезона года и времени суток, географических факторов, а также параметров измерительной аппаратуры [11–13]. С помощью диалоговой системы «SEAE» производился расчет спектральной яркости безоблачного неба, теплового излучения подстилающей поверхности и мощности засветки приемной системы рассеянным назад излучением источника.

Рис. 4 демонстрирует распределение спектральной мощности безоблачного неба в области 1,06 мкм для условий подстилающей поверхности типа трава, лес, азимута Солнца 180°, высоты Солнца 30° и синоптической ситуации, аналогичной рис. 2. Для расчета спектральной мощности излучения, падающего на приемную апертуру, использовались следующие параметры: радиус приемной апертуры 20 см, поле зрения 2 угл. мин, угол наблюдения и угол Солнца не менее 15°, угловое расстояние точки наблюдения от направления на Солнце не менее 5°. Точность оценки составляет 10%.

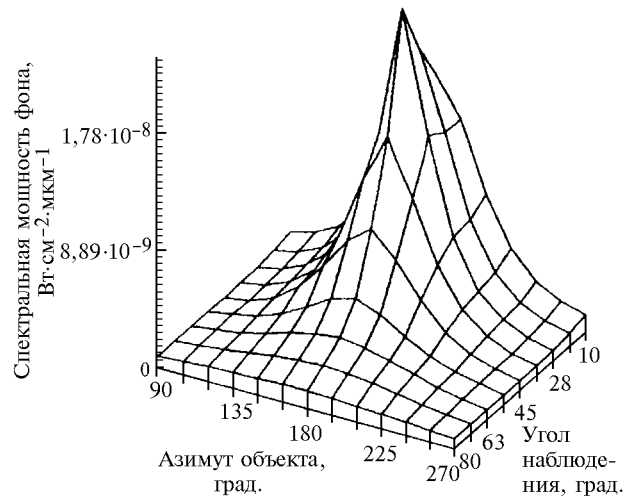


Рис. 4

5. К статистическим характеристикам оптического пучка на наклонных трассах относятся: среднеквадратические отклонения (СКО) направления распространения оптического пучка и положения изображения лоцируемого объекта в фокальной плоскости приемной оптической системы.

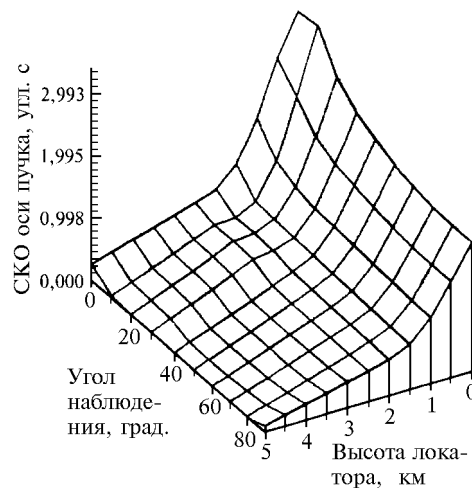


Рис. 5

Рис. 5 демонстрирует зависимость среднеквадратического отклонения оси пучка источника от угла наблюдения и высоты локатора в той же синоптической ситуации. Как видно из рис. 5, наибольшее влияние на пучок источника турбулентность атмосферы оказывает на приземных трассах.

Заключение

Для реальных синоптических ситуаций с помощью компьютерной системы «SEAE» произведена оценка точностных и энергетических характеристик лидара, технические характери-

стики которого здесь не уточняются. Данная система позволяет оперативно учитывать влияние атмосферы на распространение оптического излучения и оперативно выдавать зависимости, аналогичные вышеизложенным, что особенно необходимо при разработке или оценке эффективности работы имеющихся оптико-электронных приборов, например, на территории базирования мировых телескопов и космодронов.

1. Беляев Е.Б., Жидковский Г.Г., Исакова А.И., Копытин Ю.Д., Носов В.В. // Оптика атмосферы и океана. 1992. 5. N 7. С. 772–778.
2. Беляев Е.Б., Исакова А.И., Копытин Ю.Д., Носов В.В. // Оптика атмосферы и океана. 1993. 6. N 10. С. 1317–1324.
3. Креков Г.М., Рахимов Р.Ф. Оптико-локационная модель континентальной атмосферы. Новосибирск: Наука, 1982. 198 с.
4. Креков Г.М., Рахимов Р.Ф. Оптические модели атмосферного аэрозоля. Томск: ИОА СО АН СССР, 1986. 294 с.
5. Алексеев А.В., Кабанов М.В., Куштин И.Ф. Оптическая рефракция в земной атмосфере (горизонтальные трассы). Новосибирск: Наука, 1982. 160 с.
6. Алексеев А.В., Кабанов М.В., Куштин И.Ф., Нелюбин Н.Ф. Оптическая рефракция в земной атмосфере (наклонные трассы). Новосибирск: Наука, 1983. 230 с.
7. Куштин И.Ф. Рефракция световых лучей в атмосфере. М.: Недра, 1971. 251 с.
8. Нелюбин Н.Ф. // Рефракция оптических волн в атмосфере. Томск: ИОА СО АН СССР, 1982. С. 74–85.
9. Зуев В.Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере. М.: Радио и связь, 1981. 288 с.
10. Макушкин Ю.С., Мицель А.А., Фирсов К.М. // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1983. Т. 19. N 9. С. 824–830.
11. Оптическая модель атмосферы/Беленький М. С., Задде Г. О., Комаров В. С. и др. Томск: ИОА СО АН СССР, 1987. 225 с.
12. Глушко В.Н., Иванов А.И. и др. Рассеяние инфракрасного излучения в безоблачной атмосфере. Алма-Ата: Наука, 1974. 210 с.
13. Радиационные характеристики атмосферы и земной поверхности /Под ред. К.Я. Кондратьева. Л.: Гидрометеопиздат, 1969. 564 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
19 декабря 1996 г.

E.B. Belyaev, A.I. Isakova, Yu.D. Kopytin, V.V. Nosov. Use of Computer System «SEAE» in Estimation of Operational Efficiency of Optical Systems.

The examples of the computer system «SEAE» use are presented. the system is intended for expeditions forecasting and accounting for influence of all body of linear optical effects in the realistic atmosphere on accuracy and power characteristics of lidar systems: correction for range and refraction angle; attenuation of optical radiation along the path; intensity of backscattering radiation on the receiver aperture; the level of the receiving channel exposure to natural clutters; statistical characteristics of optical beams stipulated by influence of turbulence.