

УДК 621.383 + 681.782.4

Моделирование полей яркости объектов на фоне разорванной облачности атмосферы при наблюдении из нижней полусферы

Д. Т. Тиранов, А. А. Гусева, В. Л. Филиппов

Предложена технология имитационного 3D-моделирования разнеспектральных изображений сцен, определяющих полетные эволюции летательных аппаратов (ЛА) на фоне разорванной облачности. Результаты моделирования яркостных изображений представлены для случая высокослоистых облачных полей в диапазоне 0,3—3,0 мкм.

PACS: 42.68

Ключевые слова: моделирование, облачность, атмосфера, летательные аппараты.

Введение

Задача имитационного моделирования для описания динамических разнеспектральных яркостных изображений сцен, содержащих воздушные объекты на фоне облачности, является актуальной с учетом возрастающих требований к работе оптико-электронных систем (ОЭС) в сложных погодных условиях (сокращения времени поиска, обнаружения и т. д.). Возможность обнаружения летательных аппаратов (ЛА) в поле зрения ОЭС в заданных условиях визирования определяется не только силой излучения, но и их контрастом на фоне небосвода и подстилающей поверхности (ПП) в пригоризонтной области. В свою очередь, яркостную картину фона в диапазоне спектра 0,3—3,0 мкм определяет состояние атмосферы, которое зависит от сезона, времени суток, наличия облачности, метеорологической дальности видимости (МДВ) в приземном слое в моделируемый момент времени, высоты Солнца, а также вклада рассеяния солнечного излучения небосводом (атмосферой и облаками) и подстилающей поверхностью.

В данной статье предложена технология имитационного 3D-моделирования разнеспектральных изображений сцен, определяющих полетные эволюции ЛА на фоне разорванной облачности.

Описание методики моделирования

В работе рассматривается задача построения изображения полей яркости ЛА на фоне разорван-

ной облачности при наблюдении объектов из нижней полусферы. Ее решение непосредственно связано с разработкой методики описания поля яркости атмосферы с различной балльностью облачности. Как показывает опыт аналитических исследований, в области длин волн 0,3—3,0 мкм наибольшие трудности при моделировании типовых сцен связаны с необходимостью максимально адекватного учета значительного влияния на изображение солнечного излучения и недостаточностью экспериментальных данных для проверки полученных результатов. Принято считать, что яркостное поле небосвода определяется рассеянием солнечного излучения непосредственно в облаках, а также освещением их краев. Вместе с тем, в ближней ИК-области спектра значительно влияние подсветки нижней границы облачности от освещенной Солнцем ПП. В коротковолновом диапазоне, кроме прямого облучения Солнцем, следует также учитывать засветку облаков излучением, рассеянным в подоблачной атмосфере.

В обсуждаемой модели блок облачности задается на основе статистически обобщенных экспериментальных данных, предварительно оформленных в виде таблиц, которые построены с использованием стандартных методик [1] и с учетом результатов независимых расчетов яркостей небосвода для ясного неба и сплошной облачности, дополненных вкладом от рассеяния солнечного излучения в облаках, подоблачной атмосфере и ПП. В расчетах учтены: яркость ПП, освещенной через просветы в облаках, состояние атмосферы (МДВ), вид и балльность облачности, а также высота Солнца.

В представленной работе рассматриваются облачные поля значительной протяженности и высоты нижней границы (например, высокослоистые облака, для которых высота нижней границы достигает восьми километров, толщина — двух километров, а протяженность в горизонтальном направлении — нескольких сотен километров [2]).

Тиранов Дмитрий Тимофеевич, вед. научный сотрудник.

Гусева Александра Александровна, инженер.

Филиппов Вадим Львович, начальник отдела.

ОАО НПО «ГИПО».

Россия, 420075, г. Казань, ул. Липатова, 2.

Тел. 8 (843) 294-87-45. E-mail: npogipo@tnpko.ru;

guseva-aa@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20 августа 2014 г.

© Тиранов Д. Т., Гусева А. А., Филиппов В. Л., 2014

Края таких облаков занимают относительно небольшую площадь небосвода, поэтому их нижняя граница рассматривается как плоское облачное поле, яркость которого описана статистически с учетом яркости просветов в облаках и яркости нижней границы облаков. Соответственно этому, игнорируется влияние на яркостное поле свечения краев облаков даже в видимом диапазоне, где такое влияние максимально. Но при этом учитывается свечение облаков в нижнюю полусферу в результате рассеяния солнечного излучения. Представленный подход вполне оправдан, тем более, если принять во внимание, что ЛА пролетает край облаков за несколько секунд, тогда как под облачностью (при наблюдении снизу) на фоне нижней границы облаков или просветов он находится большую часть времени.

Расчет облученности на нижней границе облаков, создаваемой ПП, выполнен на основе программы «Яркость» [1, 3].

Наблюдаемая с высоты h_H яркость поля, формируемого диффузно отражающими облаками, расположенными на высоте h_O , определяется следующим выражением:

$$B_{OB}(h_O, h_H, \theta_H, \theta_C) = \left\{ B_O^C + \left[B_O^{ПП}(h_O) + B_O^A(h_O) \right] \right\} \cdot \tau_A + B^A(h_H \leq h \leq h_O), \quad (1)$$

где B_O^C — собственная яркость нижней границы облаков, обусловленная рассеянием солнечного излучения в облаках и определяемая при сплошной облачности (таблично); $B_O^{ПП}$, B_O^A — яркости нижней границы облаков при заданной облачности, обусловленные облучением ПП и атмосферой соответственно; τ_A — коэффициент пропускания атмосферы между точкой (x, y) облака и наблюдателем (ОЭС); $B^A(h_H \leq h \leq h_O)$ — яркость слоя атмосферы между облаком и наблюдателем; h_H , h_O — высота наблюдателя и нижней границы облаков соответственно; θ_H , θ_C — зенитные углы наблюдения и Солнца.

Яркости нижней границы облаков (в квадратной скобке в (1)) находятся по предварительно рассчитанным облученностям из нижней полусферы.

$$B = \frac{E}{\pi} \cdot \rho \cdot \left(\frac{n}{10} \cdot k \right) = \frac{E}{\pi} \cdot \rho \cdot \tau_{ПП} = \frac{E_O}{\pi} \cdot \rho,$$

где E , E_O — облученность на горизонтальной поверхности, расположенной на уровне нижней границы облачности, создаваемая ПП (из нижней полусферы) или атмосферой при отсутствии облаков и при заданной балльности облачности; ρ — ко-

эффициент диффузного отражения нижней границы облаков; n — балльность облачности; k — коэффициент затенения, задающий долю реально облученной площади ПП в зависимости от зенитного угла θ_C Солнца по отношению к площади, облученной Солнцем в зените; $\tau_{ПП}$ — доля прошедшего через просветы солнечного излучения (зависит от высоты Солнца и задается полуэмпирически). Величины k и $\tau_{ПП}$ зависят от вида (протяженности и вертикальной толщи) облаков.

Яркость слоя атмосферы между облаком и наблюдателем находится из соотношения:

$$B^A(h_H \leq h \leq h_O) = \left[B^A(h \geq h_H) - B^A(h \geq h_O) \cdot \tau_A \right] \cdot \tau_{ПП} \quad (2)$$

где $B^A(h \geq h_H)$ яркость наблюдаемой из нижней полусферы ясной атмосферы с высоты наблюдателя, $B^A(h \geq h_O)$ — яркость наблюдаемой из нижней полусферы атмосферы с высоты облаков (задаются таблично или по программе).

В результате, яркость просветов облачного поля записывается как совокупность яркостей надоблачной атмосферы и атмосферы между нижней границей облаков и наблюдателем:

$$B_{ПП}(h_O, h_H, \theta_H, \theta_C) = B^A(h \geq h_H) \cdot \tau_{ПП} - B^A(h \geq h_O) \cdot \tau_A \cdot (1 - \tau_{ПП}). \quad (3)$$

Таким образом, последовательно находя яркости облаков и просветов между ними при заданных условиях наблюдения, можно сформировать статистическое облачное поле заданной балльности.

В качестве примера на рис. 1, а, б приведены яркостные изображения самолета на фоне разорванной облачности с балльностью $n = 5$ в ближнем ИК-диапазоне спектра ($\lambda = 1,6\text{—}2,4$ мкм) для разной высоты Солнца: а) 15° и б) 45° .

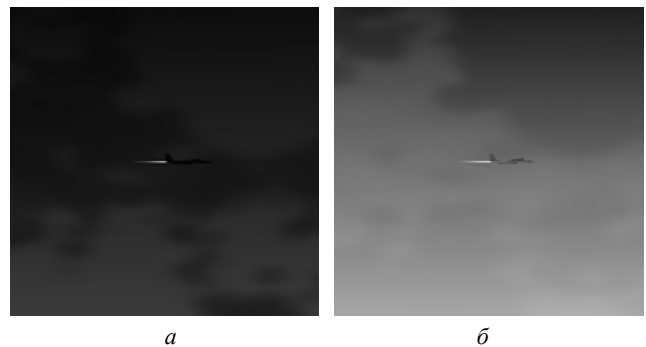


Рис. 1. Пример яркостного изображения самолета на фоне разорванной облачности. Высота цели 3500 м, скорость 300 м/с, дистанция до цели 2000 м, угол поля зрения — $4,5^\circ$, сезон — лето, МДВ 23 км, в ближнем ИК диапазоне: а) высота Солнца 15° ; б) высота Солнца 45°

Оптические изображения в процессе полетных эволюций ЛА синтезированы на основе задаваемой его объемной модели, поверхность которой формируется фасетами [4]. Для каждой фасеты определены отражательные характеристики с учетом конструктивных особенностей ЛА.

Заключение

Подводя итог, следует отметить, что представленная работа является частью систематизированных комплексных исследований в интересах достижения максимальной адекватности результатов имитационного моделирования оптико-электронных систем различного назначения [5—8].

Литература

1. *Танташев М. В., Трухина Н. Ю., Филиппов В. Л.* Оптические модели атмосферы. Анализ, пути развития // Оборонная техника. 2010. № 6—7. С. 3.
2. *Хромов С. П., Мамонтова Л. И.* Метеорологический словарь. — Ленинград, 1963 г.
3. *Philippov V. L.* // Proc. SPIE. 2000. V. 4340. P. 134.
4. *Тиранов Д. Т.* // Оборонная техника. 2010. № 6—7. С. 33.
5. *Филиппов В. Л., Танташев М. В., Вендеревская И. Г.* // Оптический журнал. 2014. Т. 81. № 4. С. 3.
6. *Поликарпов А. А., Филиппов В. Л., Яцык В. С.* // Авиакосмическое приборостроение. 2012. № 3. С. 29.
7. *Тиранов Д. Т., Овсянников Я. В., Филиппов В. Л.* // Авиакосмическое приборостроение. 2013. № 6. С. 48.
8. *Гусева А. А., Тиранов Д. Т., Филиппов В. Л.* / Сборник тезисов докладов всероссийской н/практической конф. «АВИАТОР». 12—14 февраля 2014. С. 72—74.

Modeling objects brightness fields against the background of the broken cloud cover of atmosphere at observing from a lower hemisphere

D. T. Tiranov, A. A. Guseva, and V. L. Philippov

ОАО НПО ГИПО
2 Lipatova str., Kazan, 420075, Russia,
E-mail: npogipo@tnpko.ru; guseva-aa@yandex.ru

Received August 20, 2014

The paper presents methods of the 3D simulation modeling of scene images obtained in flight dynamics of aircrafts for different spectra against the background of the broken cloud cover of the atmosphere. As an example, the paper contains the results obtained when modeling brightness images of aircrafts against the altostratus cloud fields in 0.3—3 μm range.

PACS: 42.68

Keywords: modeling, cloudiness, atmosphere, aircrafts

References

1. M. V. Tantashev, N. Yu. Trukhina, and V. L. Philippov, *Oboronnaya Tekhnika*, No. 6–7, 3 (2010).
2. S. P. Khromov and L. I. Mamontova, *Meteorological Dictionary* (Leningrad, 1963) [in Russian].
3. V. L. Philippov, *Proc. SPIE* **4340**, 134 (2000).
4. D. T. Tiranov, *Oboronnaya Tekhnika*, No. 6–7, 33 (2010).
5. V. L. Philippov, M. V. Tantashev, and I. G. Venderevskaya, *Optich. Zhurn.* **81** (4), 3 (2014).
6. A. A. Polikarpov, V. L. Philippov, and V. S. Yatsyk, *Aviakosmich. Priborostr.*, No. 3, 29 (2012).
7. D. T. Tiranov, Ya. V. Ovsyannilov, and V. L. Philippov, *Aviakosmich. Priborostr.*, No. 6, 48 (2013).
8. A. A. Guseva, D. T. Tiranov, and V. L. Philippov, in *Proc. All-Russian Conf. "AVIATOR"* (February 12–14, 2014), pp. 72–74.