

ПЕРЕНОС ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ В КОСМОС ПРИ НАЛИЧИИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЛАКОВ

В. П. Бусыгин, И. Ю. Кузьмина*

Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения»,
Москва, Россия

*E-mail: irkuzmina@bk.ru

Одним из ведущих предприятий Роскосмоса по разработке и производству лазерных систем различного назначения, в том числе, систем лазерной спутниковой дальнометрии и высокоскоростной лазерной связи, является научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения» (АО «НПК «СПП»). Лазерные системы в спутниковой дальнометрии, космической геодезии и навигации – это, прежде всего, более высокая точность измерений. Недостатком используемых лазерных систем является зависимость их производительности от метеоусловий, в частности, от наличия облаков между наземным пунктом и космическим аппаратом (КА). Однако в экспериментах, проведенных в АО «НПК «СПП», наблюдались отдельные успешные сеансы спутниковой лазерной дальнометрии в условиях облачности [1, 2].

Проведено теоретическое исследование возможности функционирования лазерных станций при наличии определенных форм облаков, применительно к характеристикам наземного и бортового блоков беззапросной лазерной дальнометрии. Процесс распространения лазерного излучения в атмосфере при наличии слоистообразных облаков верхнего и среднего ярусов моделировался с помощью локальной оценки метода Монте-Карло [3]. Используются математические модели молекулярно-аэрозольной атмосферы для длины волны 0.532 мкм, с включением оптических характеристик кристаллической среды для агрегатных структур ледяных частиц [4, 5]. Выполнены расчеты переноса субнаносекундных лазерных импульсов наземных станций на высокоорбитальные и низкоорбитальные КА. Получены коэффициенты ослабления прямого и рассеянного излучений, импульсные характеристики трасс распространения излучения и оптические сигналы на борту КА. Изучено влияние параметров кристаллических облаков на пространственно-временные и энергетические характеристики прямого и рассеянного компонентов лазерного излучения на входе приемной бортовой аппаратуры при различных углах расходимости исходного импульса и визирования на КА [5, 6].

Таким образом, принципы беззапросной лазерной дальнометрии могут быть реализованы при наличии на небосводе перистых форм облаков верхнего яруса, а также высокослоистых облаков среднего яруса с установленными ограничениями по оптической толщине. Полученные результаты подтверждают возможность повышения технологической производительности систем высокоточной спутниковой дальнометрии, так как повторяемость рассматриваемых форм облаков над территорией РФ составляет более 20%. Результаты также могут быть применены к лазерно-связным системам с учетом характеристик лазерных терминалов связи.

Литература

1. Садовников М.А., Сумерин В.В., Шаргородский В.Д. Односторонняя лазерная дальнометрия и ее применение в задачах повышения точности частотно-временного обеспечения ГЛОНАСС // International Technical Workshop WPLTN-2012. Санкт-Петербург. Россия. 2012.
2. Жабин А.С., Набокин П.И. Методы достижения субнаносекундной точности измерений интервалов времени в бортовом терминале односторонней лазерной дальнометрической системы // Электромагнитные волны и электронные системы. 2013. Т. 18. С. 39–42.
3. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике / Под ред. Марчука Г.И. – Новосибирск : Наука. 1976. – 284 с.
4. Baum B., Yang P., Heymsfield A., Bansemir A., Cole B., Merrelli A., Schmitt C., Wang Chenxi. Ice cloud single-scattering property models with the full phase matrix at wavelengths from 0.2 to 100 mm // Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. 2014. Vol. 146. P. 123–139.
5. Бусыгин В.П., Гинзбург А.С., Кузьмина И.Ю. Распространение лазерных импульсов через атмосферу в космос при наличии облаков верхнего и среднего ярусов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2021. Т. 57. № 6, С. 680–692.
6. Бусыгин В.П., Кузьмина И.Ю. Пропускание лазерного излучения кристаллическими облаками на трассах «земля – космос» // Оптика атмосферы и океана. 2024. Т. 37. № 2. С. 176–183

TRANSFER OF LASER RADIATION THROUGH THE ATMOSPHERE INTO SPACE IN THE PRESENCE OF ICE-CRYSTAL CLOUDS

V. P. Busygin, I. Yu. Kuzmina*

Joint-stock company Research and Production Corporation Precision Systems and Instruments, Moscow, Russia

**E-mail: irkuzmina@bk.ru*

Laser systems in satellite rangefinder, space geodesy and navigation are, first of all, a higher accuracy of measurements. The disadvantage of the laser systems used is that their performance depends on weather conditions, particularly the presence of clouds between the ground station and the spacecraft. However, in experiments conducted at JSC RPC PSI, there were some successful sessions of satellite laser rangefinder in cloudy conditions.

Therefore, a theoretical study was conducted on the possibility of functioning of laser stations in the presence of certain forms of clouds, in relation to the characteristics of the ground-based and airborne units of non-request laser rangefinder. The process of propagation of laser radiation in the conditions of the molecular-aerosol optical model of the atmosphere in the presence of clouds of the upper and middle tiers was simulated using the local assessment of the Monte Carlo method. Mathematical models of the atmosphere were used for a laser wavelength of $0.532 \mu\text{m}$, with the inclusion of the optical characteristics of the crystalline medium for the aggregate structures of ice particles. Calculations were performed for the transfer of optical radiation from sub-nanosecond laser pulses from ground-based stations to high- and low-orbit spacecraft. The coefficient of attenuation of direct and scattered radiation, the pulse characteristics of the radiation propagation paths, and the optical signals on board the spacecraft were obtained. The influence of the parameters of the upper and middle tiers of ice-crystal clouds on the spatial-temporal and energy characteristics of the direct and scattered components of laser radiation at the input of the receiving onboard equipment at various angle of divergence of the initial pulse γ and zenith angle of the spacecraft ν has been studied.

Thus, the principles of non-request laser rangefinder can be implemented in the presence of cirrus, cirrostratus and cirrocumulus clouds of the upper tier on the firmament, as well as altostratus clouds of the middle tier with established restrictions on the optical thickness and the zenith angle. The presented results confirm the possibility of increasing the technological performance of high-precision satellite rangefinder systems, as the repeatability of the considered cloud forms over the territory of the Russian Federation is 20% or more. The results can also be applied to laser space communication systems, taking into account the characteristics of laser communication terminals.