Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 3 (2012 5) 353-357
~ ~ ~

УДК 621.391.64

Оценка влияния астрономической рефракции на оптическую спутниковую линию связи

А.В. Василенко, В.Б. Кашкин*
Сибирский федеральный университет
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79 [1]

Received 13.08.2012, received in revised form 20.08.2012, accepted 27.08.2012

Предложена методика оценки величины астрономической рефракции для линии связи космический аппарат – наземный пункт. С использованием экспериментальных данных системы ATOVS (космический аппарат NOAA) произведен расчет ошибки наведения линии визирования в случае спектрального разделения каналов наведения (0,8 мкм) и целевой информации (1,5 мкм) в зависимости от угла места и метеорологических условий.

Ключевые слова: астрономическая рефракция, оптическая связь, спутниковая связь.

Введение

Одним из перспективных направлений развития спутниковых систем связи является использование излучения оптического диапазона. Применение оптических систем связи позволяет достичь скорости передачи данных в несколько Гбит/с при сравнительно низких энергетическо-весовых характеристиках приёмных и передающих устройств. В данной работе рассмотрен канал связи «Спутник – Земля».

Прохождение трасс линий связи через земную атмосферу накладывает определенные ограничения на выбор длин волн, используемых для передачи информации. Кроме обязательного попадания длины волны излучения в одно из окон прозрачности атмосферы, желательным является использование длин волн ИК-диапазона, так как негативное воздействие аэрозольного рассеяния на канал связи монотонно снижается по мере увеличения длины волны излучения.

Параметры промышленно выпускаемой на сегодняшний день ИК-техники накладывают дополнительные ограничения на выбор длин волн. Так, удобным оказывается частотное разделение канала целевой информации (λ = 1.45-1.55 мкм) и канала наведения (λ = 0,808 мкм).

Явления дисперсии и астрономической рефракции в атмосфере Земли способны привести к угловому рассогласованию каналов наведения и целевой информации (ЦИ), что в свою очередь может снизить характеристики канала связи.

В настоящей работе предложен способ оценки величины астрономической рефракции и вызываемого ей рассогласования лучей на основе, полученной системой AVOTS, позволяющей собирать информацию в полосе обзора 2250 км с пространственным разрешением 20-50 км. При-

* Corresponding author E-mail address: rtcvbk@rambler.ru
[1] © Siberian Federal University. All rights reserved

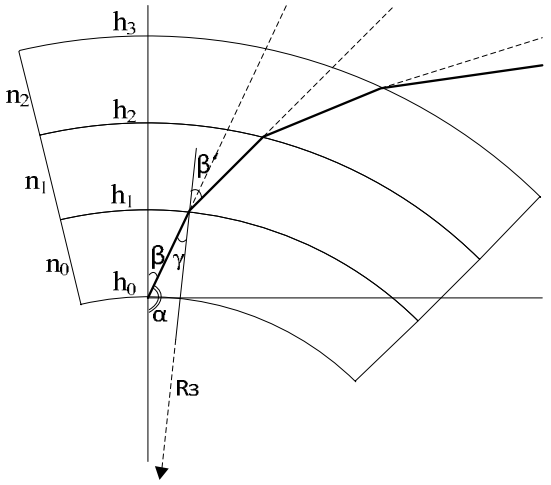

Рис. 1. Методика расчета атмосферной рефракции

ем информации в СФУ осуществлялся станцией АЛИСА™. Дешифрирование телеметрической информации проводилось посредством применения программного пакета AAPP (ATOVS and AVHRR Pre-processing Package) [1]. Результатом обработки телеметрической информации пакетом AAPP являются таблицы значений температуры, точки росы и геопотенциала.

Методика расчетов

Вертикальный профиль атмосферы разбивается на M слоёв. На основании метеорологических данных для каждого слоя рассчитывается показатель преломления по формулам [2,3] для каждой длины волны:

$$n = 1 + \left(N_{dry} + N_{H2O}\right) \times 10^{-6},$$

$$N_{dry} = \left(237{,}2 + \frac{526\nu_1^2}{\nu_1^2 - \nu^2} + \frac{11{,}69}{\nu_2^2 - \nu^2}\right)\frac{P_{dry}}{T},$$

$$N_{H2O} = \frac{651{,}7\nu_3^2}{\nu_3^2 - \nu^2}\frac{P_{H2O}}{T},$$

где ν – волновое число в см$^{-1}$, ν_1 = 114 см$^{-1}$, ν_2 = 62.4 см$^{-1}$, ν_3 = 111.575 см$^{-1}$ – константы, P_{dry} – давление сухого воздуха в кПа, P_{H2O} – парциальное давление водяного пара в кПа, T – температура в К.

Далее для каждого слоя определяется угол γ:

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{R_\oplus}{R_\oplus + h_i}\sin(\pi - \beta)\right),$$

где $R_\oplus$ – радиус Земли, h_i – высота текущего слоя. Зенитный угол β_i для каждого следующего слоя определяется через угол γ предыдущего и показатели преломления по закону преломления Снеллиуса (рис. 1).

Результирующее отклонение луча определяется как $\delta = \sum_i \left|\beta_i - \gamma_{i-1}\right|$.

Результаты

В табл. 1 приведены метеорологические данные, использованные для расчетов. Принятые значения длин волн: 0.808 мкм для канала наведения, 1.55 мкм для канала ЦИ. При расчете принято допущение о том, что метеорологические условия в горизонтальном направлении не изменяются.

На рис. 2 представлены результаты расчета приведенного показателя преломления $N = (n-1)\times 10^6$.

Результаты расчетов астрономической рефракции и углового рассогласования каналов приведены ниже в графическом виде (рис. 3, 4).

Как видно, значения отклонения луча в значительной мере зависят от угла места и метеоусловий. Поскольку типичные значения расходимости излучения, используемого как для передачи информации (порядка одной угловой минуты), так и для взаимного наведения абонентов

Таблица 1. Метеорологические данные системы AVOTS

01.01.2011		56.00° с.ш. 92.92° в.д.		01.07.2011		56.00° с.ш. 92.92° в.д.	
высота, м	давление, гПа	точка росы, °C	температура, °C	высота, м	давление, гПа	точка росы, °C	температура, °C
481	993	-30.1	-30.0	481	947	9.8	19.3
591	975	-27.5	-27.3	662	925	7.7	19.6
780	950	-22.2	-21.4	899	900	6.6	19.9
978	925	-19.7	-18.0	1388	850	3.6	16.3
1184	900	-19.0	-16.4	1899	800	-0.3	11.9
1614	850	-18.9	-15.7	2436	750	-7.4	9.0
2070	800	-20.4	-16.9	3004	700	-15.1	5.9
2553	750	-24.1	-18.9	3604	650	-18.6	1.1
3063	700	-31.7	-21.9	4242	600	-22.2	-3.6
3606	650	-39.4	-24.3	4922	550	-27.4	-8.4
4186	600	-44.1	-27.2	5655	500	-34.0	-13.5
4808	550	-47.5	-31.0	6447	450	-40.3	-19.3
5477	500	-49.3	-35.5	7309	400	-47.0	-26.5
6201	450	-51.4	-41.1	8259	350	-54.3	-34.3
6990	400	-55.0	-47.4	9317	300	-57.1	-42.5
7859	350	-56.6	-54.2	10523	250	-59.5	-50.7
8830	300	-61.5	-61.2	11946	200	-60.4	-57.8
9943	250	-67.7	-67.5	13795	150	-74.2	-50.9
11284	200	-67.2	-66.6	16420	100	-273.1	-52.0
13032	150	-69.0	-65.4	20923	50	-273.1	-50.3
15501	100	-86.3	-64.5	26981	20	-273.1	-43.6
19805	50	-273.1	-54.9				

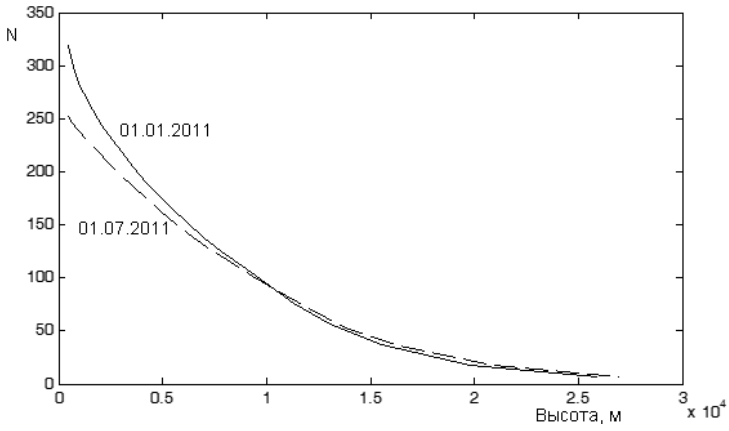

Рис. 2. Зависимость приведенного показателя преломления от высоты и метеоусловий. Сплошная линия соответствует условиям, наблюдавшимся 01.01.2011, пунктирная – 01.07.2011.

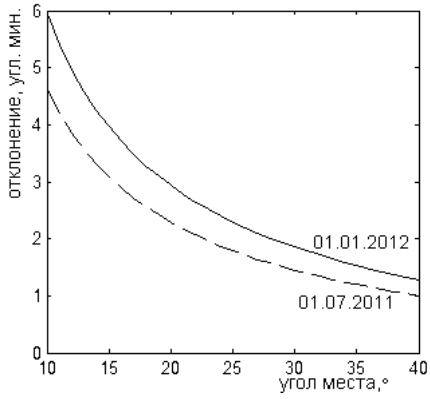

Рис. 3. Зависимость отклонения луча от угла места. Сплошная линия соответствует условиям, наблюдавшимся 01.01.2011, пунктирная – 01.07.2011.

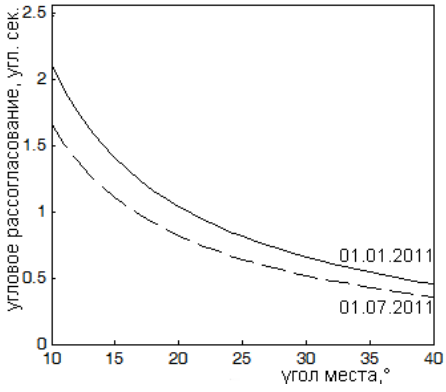

Рис. 4. Зависимость углового рассогласования каналов наведения и целевой информации от угла места и метеоусловий

сопоставимы с полученными значениями отклонений, явление астрономической рефракции необходимо учитывать при планировании сеансов связи.

При частотном разделении канала наведения и целевой информации с выбранными в данной статье параметрами явлением рассогласования лучей можно пренебречь вне зависимости от величины угла места, метеоусловий и диаграмм направленности передатчиков.

Список литературы

1. International ATOVS Processing Package. Электронный ресурс: http://cimss.ssec.wisc.edu/opsats/polar/iapp/.

2. *Smith F.* The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook: В 8 т. Т. 2. Atmospheric propagation of radiation. / F. Smith. – SPIE press, 1993. – 322 p.

3. *Зуев В.Е.* Распространение лазерного излучения в атмосфере. – М.: Радио и связь, 1981. 288 с.

Method of Estimation of Atmospheric Refraction Effect on Satellite-to-Earth Optical Communication Link

Alexander V. Vasilenko and Valentin B. Kashkin
Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, Russia, 660041

Method of estimation of atmospheric refraction effect on Satellite-to-Earth optical communication link is suggested. Misalignment and refraction angles are found for several meteorological conditions and zenith angles for informational (1.5 μm) and tracking (0.808 μm) channels using ATOVS/NOAA experimental data.

Keywords: astronomical refraction, optical communications, satellite communications.