

УДК 621.391.64

ОЦЕНКА ОГРАНИЧЕНИЙ, НАКЛАДЫВАЕМЫХ СО СТОРОНЫ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ НА ГОТОВНОСТЬ СПУТНИКОВОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

А. В. Василенко¹, В. Б. Кашкин²

¹ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»
Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52
E-mail: a.v.vasilenko@mail.ru

²Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

Предложен метод оценки коэффициента готовности спутниковой линии связи оптического диапазона «геостационарный космический аппарат – наземный пункт» на основании метеоданных, содержащих значения облачности и метеорологической дальности видимости, в зависимости от количества наземных пунктов. С использованием данных метеорологических наблюдений за 2000–2012 гг. определена комбинация положений наземных пунктов приема информации, привязанных к положениям существующих метеостанций, обеспечивающая наибольшее значение коэффициента готовности канала связи. Показано, что применение пяти наземных станций обеспечивает ограничение коэффициента готовности канала связи со стороны атмосферных эффектов 0,9. Метод, продемонстрированный в данной работе, может быть применен при проектировании перспективных систем космической связи.

Ключевые слова: спутниковая связь, оптическая связь.

ESTIMATION OF AVAILABILITY DECLINE DUE TO ATMOSPHERIC EFFECT ON SATELLITE-TO-EARTH OPTICAL COMMUNICATION LINK

A. V. Vasilenko¹, V. B. Kashkin²

¹JSC “Information satellite systems” named after academician M. F. Reshetnev”
52, Lenin str., Jeleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation
E-mail: a.v.vasilenko@mail.ru

²Siberian Federal University,
79, Svobodny Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

The estimation method of availability decline due to atmospheric effect on Satellite-to-Earth optical communication link considering cloudiness, meteorological range of visibility and multiple ground stations effect is proposed. Using meteorological data for 2000–2012 the combination of ground stations related to existing meteorological stations that gives maximum availability is defined. It is shown that availability decline due to atmospheric effects may be reduced to 0.9 using 5 spaced ground stations. The method may be applied while developing the next-generation space communication systems.

Keywords: satellite communication, optical communication.

В условиях возрастающих требований к оперативности и объемам информации, доставляемым с космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли на наземные пункты приема информации (НППИ), перспективным является использование КА-ретрансляторов, расположенных на геостационарной орбите, работающих в оптическом диапазоне длин волн. Использование именно оптического диапазона позволяет решить проблему электромагнитной совместимости космических аппаратов, обеспечивает высокую скрытность передачи информации, а современные технологии позволяют реализовать скорости передачи данных до нескольких Тбит/с при сравнительно низких энергомассовых характеристиках бортовой аппаратуры.

Прохождение трасс через земную атмосферу накладывает ряд ограничений на функционирование линий связи оптического диапазона. Одним из факторов является облачность, естественным образом ограничивающая распространение оптических волн.

В данной работе рассмотрена возможность парирования указанных ограничений путём расположения нескольких НППИ в наиболее выгодных с метеорологической точки зрения местоположениях, облачность в которых наименее взаимоскоррелирована. При этом предполагается, что в ходе сеанса работы КА-ретранслятор устанавливает связь только с тем НППИ, для которого на данный момент реализуются наилучшие метеословия.

Методика расчетов. Для проведения оценок выбрано 60 географических пунктов, соответствующих расположению существующих метеостанций, наиболее полно удовлетворяющих критериям:

- расположение пункта на территории РФ;
- равномерное разнесение пунктов по долготе;
- максимально высокое расположение пункта над уровнем моря;

– расположение пункта максимально близко к экватору.

На рис. 1 представлены точки положения пунктов на карте.

Южное (с учетом расположения на территории РФ) расположение пунктов позволяет обеспечить наилучшие значения углов места, а возвышение над уровнем моря сокращает путь оптического сигнала в наиболее плотных слоях атмосферы.

Оценки ограничения готовности (ОГ) на линию связи КА–НППИ проведены для вариантов расположения выборки трех-семи НППИ в выбранных географических пунктах.

Для обеспечения рабочих углов места при работе КА со всеми пунктами, входящими в выборку, введено дополнительное ограничение: пункты, входящие в выборку, должны быть разнесены по долготе не более чем на 50°.

В табл. 1 приведён фрагмент вида исходных метеоданных для одного из пунктов (г. Владикавказ) [1], где N – облачность (1 балл соответствует перекрытию 10 % неба облаками); VV – метеорологическая дальность видимости, км; временной интервал между двумя смежными записями – 3 ч.

С учетом ограничений, накладываемых атмосферными явлениями, готовность канала связи может быть рассчитана как [2]

$$P = Pt \cdot D,$$

где Pt – значение готовности, определяемое техническими и эксплуатационными характеристиками КА и наземной инфраструктуры; D – ОГ со стороны метеословий.

Таблица 1

Фрагмент исходных метеоданных для г. Владикавказ

Дата, UTC	Время, UTC	N	VV
2011-01-01	00:00	10	1
2011-01-01	03:00	10	1
2011-01-01	06:00	10	4
2011-01-01	09:00	10	1
2011-01-01	12:00	10	1
...			

Для каждого момента времени, соответствующего проведению измерений метеостанций, определено ОГ для выборки наземных пунктов:

$$D_i = \text{Max}(d_1, d_2, \dots, d_j),$$

где Max – оператор выбора максимального значения; d_1, d_2, \dots, d_j – ОГ для каждой станции, входящей в выборку, определяемое следующим образом:

$$d_j = \begin{cases} 100 - 10 \cdot N_j, & VV > 3, \\ 0, & VV < 3, \end{cases}$$

где N_j – значение облачности в текущий момент времени; VV – значение метеорологической дальности видимости, используемое для учета таких явлений, как туман, смог и т. п. [3; 4].

Результаты и их обсуждение. Результаты оценок для выборок, на которых достигается наилучшее значение ОГ, приведены в табл. 2.

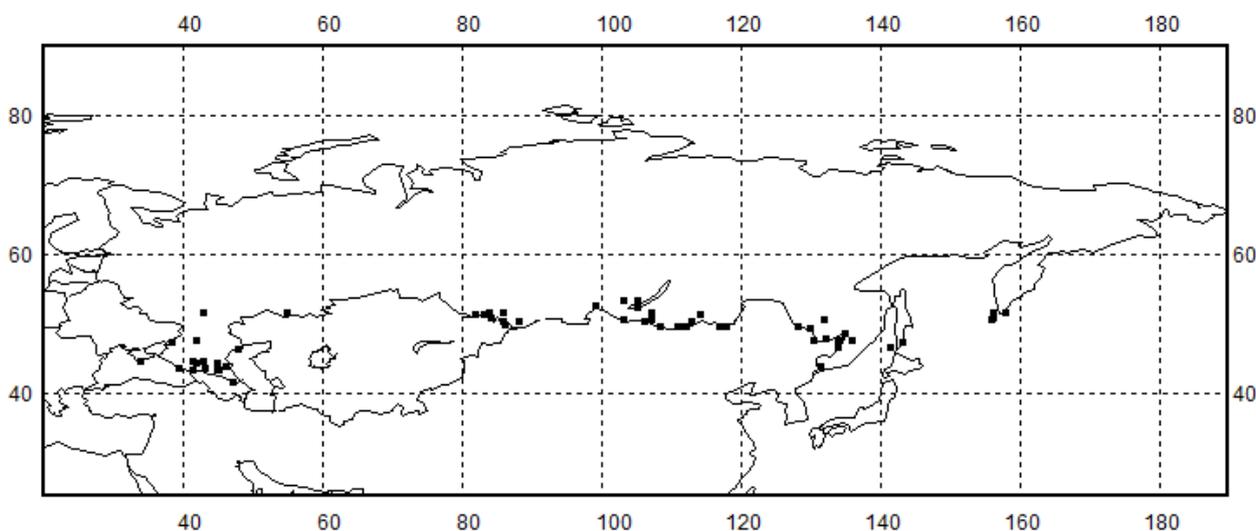


Рис. 1. Расположение выбранных географических пунктов на карте

Результаты расчета ограничения готовности для выборок наземных пунктов

Количество пунктов в выборке	Ограничение готовности	Состав выборки		
		Координаты	Индекс соответствующей метеостанции	Населенный пункт
3	0,83	(51°48'N 107°26'E)	30823	Улан-Удэ
		(49°50'N 118°23'E)	30978	Кайластуй
		(48°31'N 135°10'E)	31735	Хабаровск
4	0,87	(50°22'N 106°27'E)	30925	Кяхта
		(49°50'N 118°23'E)	30978	Кайластуй
		(49°37'N 128°39'E)	31587	Полярково
		(48°31'N 135°10'E)	31735	Хабаровск
5	0,90	(51°48'N 107°26'E)	30823	Улан-Удэ
		(51°07'N 114°33'E)	30859	Агинское
		(49°50'N 118°23'E)	30978	Кайластуй
		(49°37'N 128°39'E)	31587	Полярково
		(48°31'N 135°10'E)	31735	Хабаровск
6	0,91	(51°48'N 107°26'E)	30823	Улан-Удэ
		(51°07'N 114°33'E)	30859	Агинское
		(50°22'N 106°27'E)	30925	Кяхта
		(49°50'N 118°23'E)	30978	Кайластуй
		(49°37'N 128°39'E)	31587	Полярково
		(48°31'N 135°10'E)	31735	Хабаровск
7	0,92	(51°48'N 107°26'E)	30823	Улан-Удэ
		(51°07'N 114°33'E)	30859	Агинское
		(50°22'N 106°27'E)	30925	Кяхта
		(49°50'N 118°23'E)	30978	Кайластуй
		(49°37'N 128°39'E)	31587	Полярково
		(49°25'N 130°05'E)	31594	Архара
		(48°31'N 135°10'E)	31735	Хабаровск

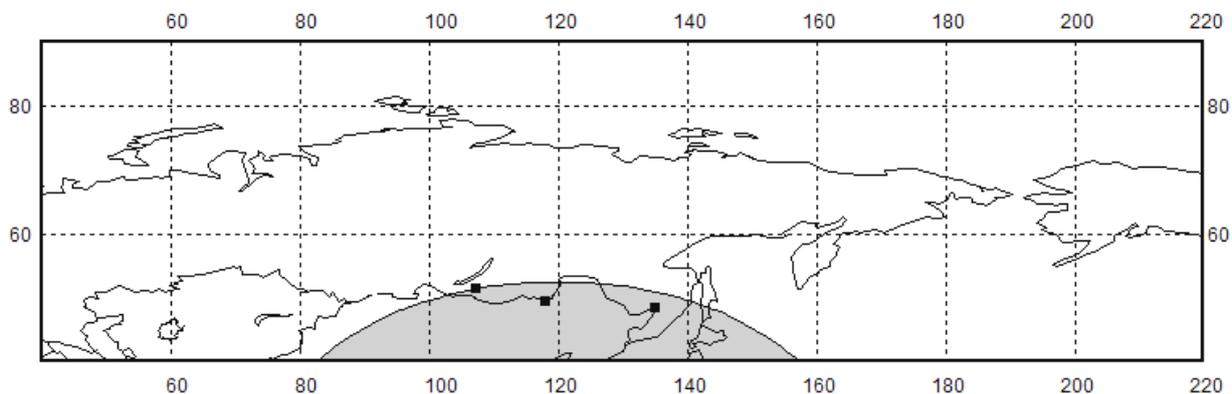


Рис. 2. Расположение выборки № 1 на карте (3 станции, ОГ = 0,83)

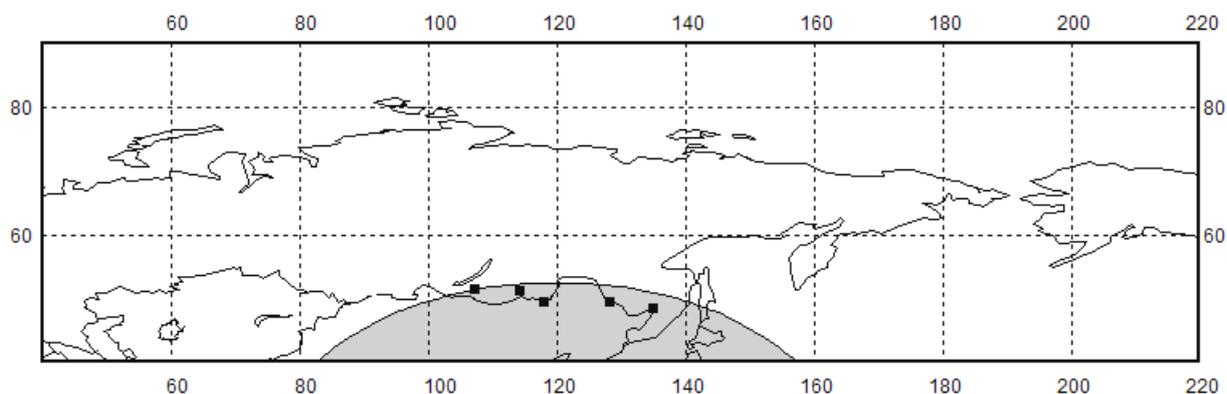


Рис. 3. Расположение выборки № 3 на карте (5 станций, ОГ = 0,90)

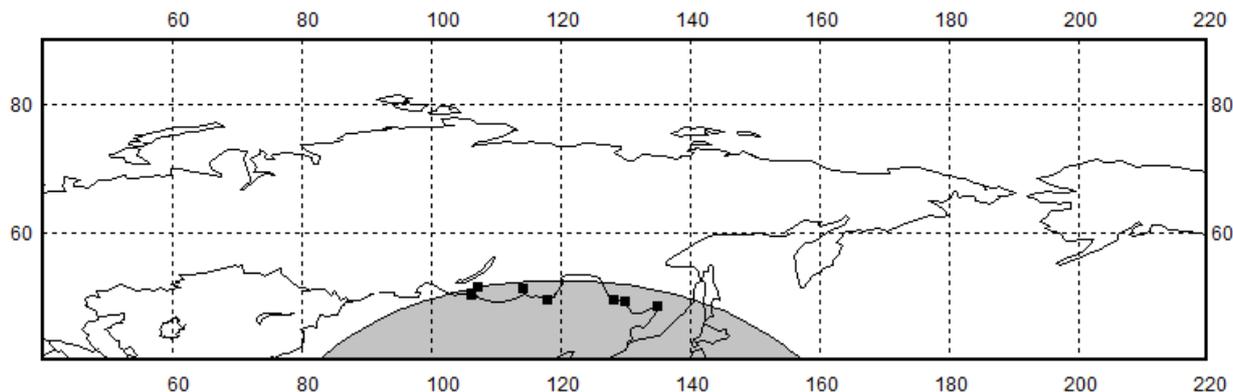


Рис. 4. Расположение выборки № 5 на карте (7 станций, $OG = 0,92$)

Как видно из табл. 2, при применении уже пяти наземных станций достижимо значение OG более 90. На рис. 2–4 представлено расположение станций на карте. Серым закрашена область, в которой обеспечиваются значения углов места не менее 30° при точке стояния геостационарного КА 120° в. д.

С учетом метеоусловий, при применении пяти НППИ (из которых с КА сеанс связи осуществляет только одна станция) и технической готовности средств связи 0,95 достижимо значение коэффициента готовности всего тракта КА–НППИ 0,85.

Проведенные оценки показывают, что применение разнесенных географически приемных пунктов позволяет достичь коэффициентов готовности канала связи в рамках требований, предъявляемых к современным космическим системам.

Библиографические ссылки

1. Сервер «Погода России» ИКИ РАН [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.infospace.ru/>.
2. ГОСТ Р 27.002–2009. Надежность в технике. Термины и определения. М. : Изд-во стандартов, 2009.

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

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

References

1. Server "Pogoda Rossii" IKI RAN ["Russia's Weather, Server of SMIS IKI RAN], Available at: <http://meteo.infospace.ru/> (accessed 01 March 2014).
2. GOST R 27.002–2009. Nadezhnost v tehnike. Terminy i opredelyeniya [State Standard R 27.002–2009. Reliability in the sphere of inengineering. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2009.
3. Smith F. The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook, Vol 2. Atmospheric propagation of radiation, SPIE press, 1993. 322 p.
4. Zuev V. E. Rasprostraneniye lazernogo izlucheniya v atmosfere [Laser radiation propagation through atmosphere]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1981, 288 p.

© Василенко А. В., Кашкин В. Б., 2014

УДК 629.76/78.001.63

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ И ФОРМЫ КРУПНОГАБАРИТНОГО РЕФЛЕКТОРА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Н. Н. Голдобин

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва
Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52
E-mail: dirtykola@rambler.ru

Рассматриваются некоторые разработанные математические методы, которые позволяют производить оценку точности положения и точности формы отражающей поверхности крупногабаритного рефлектора