

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ СПУТНИКОВОМ МОНИТОРИНГЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

## INCREASING EFFICIENCY OF DATA TRANSMISSION DURING SATELLITE MONITORING OF AIRCRAFT

**S. Mainasheva  
Yu. Ogorodnikova  
O. Bolotova  
E. Gorbunov**

*Summary.* One of the most common methods for monitoring mobile objects is satellite monitoring. There are a number of factors that complicate the process, the main one being the inhomogeneity of atmosphere, and in cases of insufficient power in the communication line, it becomes impossible to monitor aircraft. Therefore, it is necessary not only to choose the most optimal system, but also to ensure the proper level of transmission, excluding the influence of the ionosphere, which has the greatest impact on data transfer in free space.

The article presents calculation of losses in free space for Iridium and Gonet systems.

Methods based on the total electron content of the ionosphere are also proposed. Based on the models examined, the effectiveness of the methods for the most suitable communication system was estimated.

*Keywords:* Iridium, Gonet, ionosphere error, calculation of energy power, uplink, monitoring of mobile unit, GRAPHIC, GEMTEC, GIM, electronic level of the atmosphere.

**Майнашева Софья Олеговна**

Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнева  
maynasheva95@yandex.ru

**Огородникова Юлия Владимировна**

Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнева  
grand\_espada24@mail.ru

**Болотова Ольга Валерьевна**

Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнева  
etgikcimata@mail.ru

**Горбунов Эрик Вячеславович**

Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнева  
eric.gorbunov@bk.ru

*Аннотация.* Один из наиболее распространенных методов мониторинга подвижных объектов является спутниковый мониторинг. При этом существует ряд факторов затрудняющих процесс, основным из которых является неоднородность атмосферы, а в случаях недостаточной мощности в линии связи становится невозможно произвести мониторинг воздушных судов. Следовательно, необходимо не только выбрать наиболее оптимальную систему, но и обеспечить должный уровень передачи, максимально, исключая влияние ионосферы, оказывающей наибольшее влияние на передачу данных в свободном пространстве.

В статье представлен расчет потерь в свободном пространстве для систем Iridium и Гонец, относящихся к классу низкоорбитальных систем, для выбора системы.

Так же предложены методы на основе полного электронного содержания ионосферы. На основе рассмотренных моделей, произведена оценка эффективности методов для наиболее подходящей системы связи.

*Ключевые слова:* Iridium, Гонец, ионосферная ошибка, энергетический расчет, линия связи, мониторинг подвижных объектов, GRAPHIC, GEMTEC, GIM, полное электронное содержание атмосферы.

## Введение

Спутниковые системы связи заняли прочное место среди других видов коммуникаций. В подобных системах в качестве ретранслятора выступает космический аппарат КА[1]. Данные системы связи имеют несколько классов в зависимости от высоты, на которой находится КА, а в зависимости от структуры созвездия и действующей аппаратуры, система способна производить передачу данных мгновенно или с задержкой[2–3].

Некоторые из данных систем активно используются для мониторинга подвижных объектов на территории Российской Федерации. С учетом сложной рельефной структуры страны, а так же отсутствие других доступных средств коммуникации спутниковые системы являются наиболее предпочтительными для данных целей.

На территории РФ при авиационных происшествиях и крушениях воздушных ВС используются радионавигационные данные. Однако из-за перечисленных выше особенностей территории и регулярных отказах при

Таблица 1. Промежуточные результаты энергетического расчета

Параметры	Iridium	Гонец
Линия «Борт-КА»		
$P_n$	2	5,1
$P_{np}$	3,6	3,12
$P_{np}/N_0$	$5,09 \cdot 10^{18}$	$6,91 \cdot 10^{18}$
Линия «КА-Борт»		
$P_n$	35	52,57
$P_{np}$	70	103,14
$P_{np}/N_0$	$38,9 \cdot 10^{18}$	$41,588 \cdot 10^{18}$

перегрузках ряд систем используемых для мониторинга не могут удовлетворить требования предъявляемые к ним. Данные же при крушение ВС не поступают в центры слежения, не позволяя найти пострадавших.

Одними из наиболее распространенных систем для мониторинга подвижных объектов является системы Гонец и Iridium. Выбор систем обусловлен тем, что система Iridium имеет почти 100% покрытие Земли[4–5], в то время как система Гонец имеет 100% покрытия территории РФ, а к 2020 году, после ввода 12 КА[6] система так же будет иметь сопоставимое покрытие с системой Iridium.

Мониторинг подвижных объектов в основном применяется в поисково-спасательной деятельности. Быстрота и продуктивность поисковых групп способна спасти жизни, а так же сэкономить средства из бюджета. Однако для максимального результата деятельности структур МЧС требуется уменьшить влияние технических и естественных факторов на работу системы. В данном случае к естественным факторам относится ионосферная ошибка, а к техническим работа и мощность аппаратуры[7].

Возникает необходимость в проведение энергетического расчета, для определения наиболее подходящей системы при условии однородности среды, а так же в выборе метода, для устранения ионосферной ошибки.

### Энергетический расчет

Системы Iridium» и «Гонец» реализуются на базе оборудования VSAT (very small aperture terminal). Абонентские терминалы данных систем обеспечивают надежность передачи данных, а так же имеют компактных размер. Основной проблемой в работе любой коммуникационной системы является обеспечение непрерывности связи и достоверность передачи данных[8]. В связи в сравнительном анализе проводится расчет добротности, энергетического потенциала, эквивалентной изотропной излучаемой мощности ЭИИМ и потери в линии связи.

Для проведения расчета используются параметры абонентских терминалов:

1. Iridium 9603 системы Iridium
2. АТ-МН-2.1 системы «Гонец»

Для проведения расчета баланса энергетической линии будут заданы ряд условий. В связи с неоднородностью атмосферы будем считать ее однородной, воздействию Земли пренебрежительно малым[9–10], а общие потери в фидерном тракте не более 1,5дБ[11].

Для расчета использовались ряд уравнений, основным из которых является:

$$\frac{P_{np}}{N_0} = \frac{P_n G_n (G_{np} / T_{np})}{k L \Delta L} \quad (1)$$

где  $P_{np}$  - мощность принимаемого сигнала,  $N_0$  — спектральная плотность шумов на входе приемника,  $P_n$  — мощность передатчика,  $G_n$  — коэффициент потери в фидере передатчика,  $G_{np}$  - потери в фидере приемника,  $k=1.39 \cdot 10^{-23}$  Вт/Гц\*гр — постоянная Больцмана,  $L$  - коэффициент потерь,  $\Delta L=3$ дБ,  $T_{np}=200-290$ К — шумовая температура приемного устройства в зависимости от системы. Значения мощностей передачи, полученные в ходе расчетов, внесены в табл. 1.

Вторым параметром, необходимым для оценки радиолинии является коэффициент потерь в свободном пространстве. На рис. 1, изображена зависимость коэффициента потерь каждой системы на линии «Борт — КА» от расстояния.

По результатам сравнительного анализа система «Гонец» превалирует над системой Iridium в классе низкоорбитальных систем, используемых для мониторинга подвижных объектов. Несмотря на ограничения покрытия системы «Гонец» к 2020 году ее покрытие составит 100%.

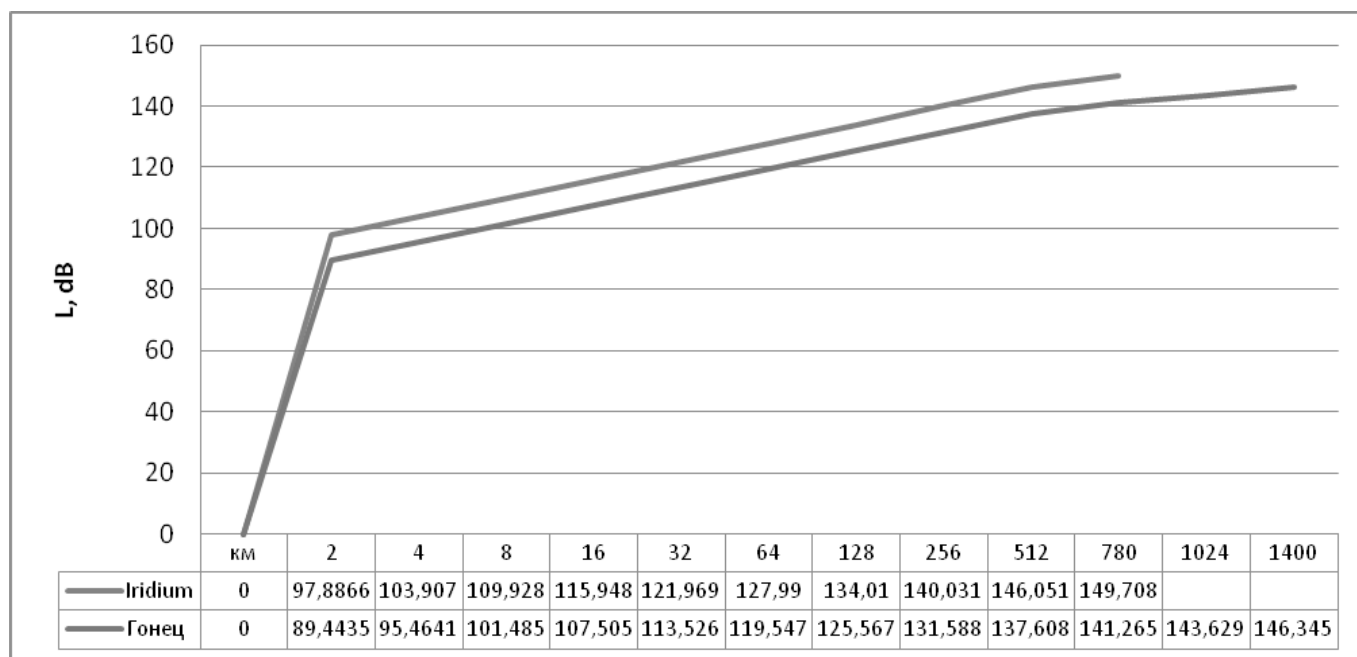


Рис. 1. Зависимость затухания в радиолинии от расстояния

С учетом экономической и технической составляющей, более предпочтительной является система «Гонец», не подверженная влиянию экономической ситуации извне.

#### Решения по уменьшению ионосферной ошибки

Для устранения ионосферной ошибки рассмотрены метод ортогональных функций GEMTEC[12–13], метод среднеквадратичных значений кода GRAPHIC[14], а также метод GIMS[15].

Метод GEMTEC предлагает полный учет переменных факторов в работе системы. Данные переменных передаются вместе с пакетом данных, а корректировка происходит по заданному алгоритму раз в 6 дней[12–13].

В основу данного метода лежит метод естественных ортогональных функций, решение которых возможно через матрицу (2).

где  $y_i$  – ортогональные функции, а  $A$  — матрица размером  $k_0 \times k_0$ .

В основу метода GRAPHIC лежит использование среднеквадратичных значений несущей и кода. Основное уравнение имеет вид:

$$P = \frac{Pr + \Phi_{L1}}{2} \quad (3)$$

где  $Pr$  — значение псевдодальности,  $\Phi_{L1}$  — диапазон фазы несущей частоты  $L_1$ .

В данном методе измерения не зависят от ионосферной задержки. Основным параметром измерения является уровень шума. Однако возникает проблема с измерением кода, создавая фактор ошибки измерений.

В основу метода GIM лежит использование карт полного электронного содержания ионосферы, позволяющего внести корректировки данных.

$$A = \{A_{kp}\} = \left\{ \sum_{n=1}^N f_k^n f_p^n \right\} = \begin{pmatrix} \sum_{n=1}^N f_1^n f_1^n & \sum_{n=1}^N f_1^n f_2^n & \sum_{n=1}^N f_1^n f_{k_0}^n \\ \dots & \dots & \dots \\ \sum_{n=1}^N f_{k_0}^n f_1^n & \sum_{n=1}^N f_{k_0}^n f_2^n & \sum_{n=1}^N f_{k_0}^n f_{k_0}^n \end{pmatrix} \quad (2)$$

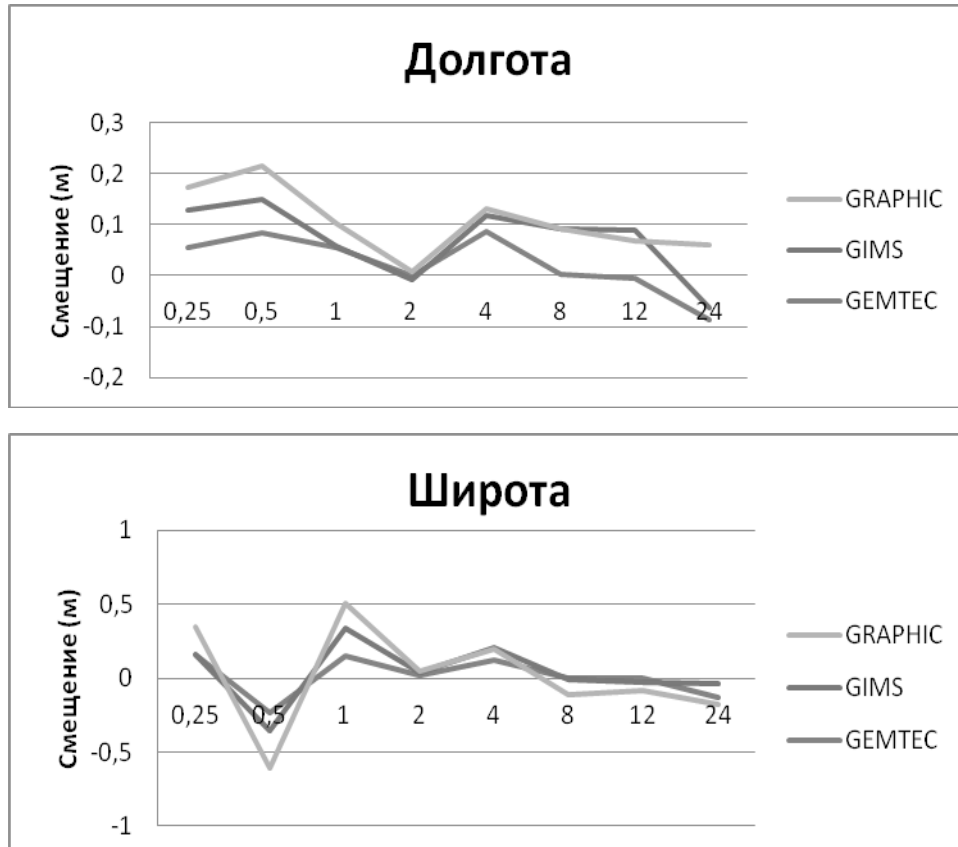


Рис. 2. Поправки по широте и долготе в зависимости от состояния ионосферы.

## Заключение

С учетом выбора системы «Гонец» среднее отклонение от положения объекта не превышает  $\pm 2$  м. Используя метод GEMTEC отклонение от точки измерения минимально. Методы GIM и GRAPHIC боль-

ше подходят для работы с готовыми данными, что уменьшает их надежность в случае выхода системы из строя.

Наиболее предпочтительным является использование системы «Гонец» совместно с моделью GEMTEC.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аболиц А. И. Системы спутниковой связи. Основы структурно-параметрической теории и эффективность. М.: ИТИС, 2004. 426 с.
2. Jin S. Global Navigation Satellite Systems — Signal, Theory and Applications. Austria: InTech publ., 2012. 438 p.
3. Лазарев А. И., Нечаев Е. Е. Состояние и развитие спутниковых систем связи и навигации // Научный вестник МГТУ ГА. 2010. № 159. С. 32–43
4. IRIDIUM. Услуги передачи данных компании Iridium. Белая книга. Версия 1.1.2 [Электронный ресурс]. URL: [http://iridium.steccom.ru/wp-content/uploads/2012/09/Iridium-Data-Services-White-Paper-11.1.2\\_RU.pdf](http://iridium.steccom.ru/wp-content/uploads/2012/09/Iridium-Data-Services-White-Paper-11.1.2_RU.pdf) (дата обращения 15.04.2016).
5. Tanjila F. Performance Analysis of Low Earth Orbit (LEO) Satellite Link in the presence of Elevation Angle, Fading, And Shadowing. Bangladesh: BRAC University publ., 2009. 66 p.
6. Kuzovnikov A. V., Testoedov N. A., Agureev V. A. Problems of development of low-orbit multifunctional personal satellite communication system «GONETS-D1M» // Вестник СибГАУ. 2013. № 6(52). С. 158–163.
7. Error Sources [Электронный ресурс]. URL: <http://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-4-gnss-error-sources/error-sources/> (Дата обращения: 16.08.2018)
8. Кантор Л. Я. Спутниковая связь и вещание. М.: Радио и связь, 1988. 528 с.
9. Захаров Ф. Н., Крутиков М. В. Сравнение точности времени задержки навигационных сигналов при использовании различных моделей высотного профиля индекса преломления // Доклады ТУСУР. 2014. № 2 (32). С. 7–12
10. Ghasemi A., Abedi A., Ghasemi F. Propagation Engineering in Wireless Communications. New York: Springer, 2012. 434 p.
11. Дорезюк Н. И. Рекомендации по выбору и эксплуатации фидеров. ИНФОРМОСТ — радиоэлектроника и телекоммуникации, 2002, № 5(23), С. 1–8.

12. Былинин К. Е., Горбачев О. А., Иванов В. Б., Гефан Г. Д. Глобальная эмпирическая модель коррекции ионосферной погрешности спутниковых навигационных систем // Научный вестник МГТУ ГА. 2011. № 171. С. 151–156.
13. Ivanov V. B., Gorbacev O. A., Gefan G. D. The GEMTEC Model: Assessment of Quality of Ionospheric Correction in Satellite Radio Navigation Systems. *Consumer Electronics Times*, 2012, Vol. 1, № 3. P. 43–46.
14. Simsky A., Standalone Real-Time Navigation Algorithm for Single-Frequency Ionosphere-Free Positioning Based on Dynamic Ambiguities (DARTS-SF). *Proceedings of the ION GNSS18th International Technical Meeting of the Satellite Division*. Texas: Fort Worth, 2006. P. 301–308.
15. Rizos C., Janssen V., Roberts C., Grinter T., Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End? [Электронный ресурс]. URL: [http://www.fig.net/resources/proceedings/fig\\_proceedings/fig2012/papers/ts09b/TS09B\\_rizos\\_janssen\\_et\\_al\\_5909.pdf](http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2012/papers/ts09b/TS09B_rizos_janssen_et_al_5909.pdf) (дата обращения 30.07.2018)

© Майнашева Софья Олеговна ( [maynasheva95@yandex.ru](mailto:maynasheva95@yandex.ru) ), Огородникова Юлия Владимировна ( [grand\\_espada24@mail.ru](mailto:grand_espada24@mail.ru) ),  
Болотова Ольга Валерьевна ( [emgikimama@mail.ru](mailto:emgikimama@mail.ru) ), Горбунов Эрик Вячеславович ( [eric.gorbunov@bk.ru](mailto:eric.gorbunov@bk.ru) ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнева