

УДК 629.783

**СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕС ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИГНАЛОВ S1 И L5 СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ IRNSS\*****К. Д. МОХД<sup>1</sup>, Д. С. АЧАНТА<sup>1</sup>, В. К. Р. НАЛАМ<sup>1</sup>, Т. К. ПАНТ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Технологический институт Чаитанья Бхарати,  
Индия, Хайдарабад, Телангана  
Индийская организация космических исследований,  
Индия, Ахмадабад

**Аннотация** — Региональная спутниковая система навигации в Индии IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) представляет собой спутниковую систему навигации, разработанную Организацией по исследованию космического пространства в Индии ISRO (Indian Space Research Organization). Точность определения местоположения ограничена рядом ошибок, включая задержку в ионосфере. Задержку в ионосфере можно оценить при точном вычислении общего количества электронов ТЕС (total electron content). Однако величина ТЕС зависит от многолучевости и теплового шума. Поэтому проводятся измерения относительного ТЕС при отсутствии многолучевости и теплового шума, и затем сравниваются с результатами двух других методов, а именно, метода кодового ТЕС и метода IRS (программное обеспечение приемника IRNSS). В данном исследовании рассматриваются сигналы L5 (1176,45 МГц) и S1 (2492,028 МГц) со спутников 1A–1G системы IRNSS. Полученные результаты показывают, что метод оценки относительного ТЕС позволяет удалять из измерений ТЕС многолучевость и тепловой шум. Кроме того, значения ТЕС для сигналов, поступающих с различных спутников IRNSS, оцениваются путем вычисления стандартного среднеквадратичного отклонения (SD). При анализе данные разделяются на сегменты, каждый длительностью 1 ч. Полученные результаты указывают, что SD при оценке значения относительного ТЕС оказываются меньше (на 2,5 TECU в случае спутника 1B IRNSS), чем для двух других методов. Следовательно, относительный ТЕС можно использовать в приемнике для оценки задержки в ионосфере. Кроме того, большое значение отношения рабочих частот указывает на лучшее оценивание ТЕС.

**Ключевые слова:** IRNSS; региональная спутниковая система навигации в Индии; задержка времени в ионосфере; ионосферная временная задержка; ТЕС; общее количество электронов; относительный ТЕС; относительное общее количество электронов; IRS; программное обеспечение приемника IRNSS

**1. ВВЕДЕНИЕ**

Сигналы глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) претерпевают задержку при прохождении через космическое

пространство до Земли. Различные источники ошибок оказывают влияние на эти сигналы на пути их прохождения. Время задержки при прохождении через ионосферу является одной

---

\* Научно-исследовательская работа, представленная в этой статье, выполнена в рамках проекта, финансируемого Организацией по исследованию космического пространства в Индии (ISRO) посредством санкционирующего письма № ISRO/RES/2/399/15-16 от 13 июля 2015 года, в соответствии с программой RESPOND.

ТЕС. Установлено, что метод относительного ТЕС вытесняет другие методы за счет существенного удаления многолучевости и теплового шума из результатов измерений. Это отражается на гладкости кривой и на результатах статистического анализа, показанных в таблице 2. Выполнен также краткий анализ расчета IPP.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Javeed, M. O.; Sarma, A. D.; Sridher, T.; Koteswara Rao, N. V.; and Pant, T. K. "Multipath and thermal noise free relative TEC estimation for IRNSS L5 and S1 signals," *Proc. of URSI-GASS 2017*, Aug 19-26, 2017.
2. Srinivas, V. S.; Sarma, A. D.; Achanta, H. K. "Modeling of ionospheric time delay using anisotropic IDW with Jackknife technique," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. 54, No. 1, p. 513-519, 2016. DOI: [10.1109/TGRS.2015.2461017](https://doi.org/10.1109/TGRS.2015.2461017).
3. Yedukondalu, K.; Sarma, A. D.; Vemuri, S.S. "Estimation and mitigation of GPS multipath interference using adaptive filtering," *PIER M*, Vol. 21, p. 133-148, 2011. DOI: [10.2528/PIERM11080811](https://doi.org/10.2528/PIERM11080811).
4. Langley, R. B. "GPS receiver system noise," *GPS World*, p. 40-45, June 1997.
5. Nadarajah, N.; Khodabandeh, A.; Teunissen, P. J. G. "Assessing the IRNSS L5-signal in combination with GPS, Galileo, and QZSS L5/E5a-signals for positioning and navigation," *GPS Solut.*, Vol. 20, No. 2, p. 289-297, 2016. DOI: [10.1007/s10291-015-0450-8](https://doi.org/10.1007/s10291-015-0450-8).
6. Walter, T.; Gunning, K.; Blanch, J. "Improved ephemeris monitoring for GNSS," *Proc. of ION Int. Tech. Meeting*, 25-28 Jan 2016.
7. Rao, V. G.; Lachepelle, G. "Proposed dual frequency signal design for optimal TTFF in IRNSS," *Proc. of Pearl Jubilee Int. Conf. on Navigation and Communication*, 20-21 Dec. 2012, Hyderabad, India. 2012.
8. [www.isro.gov.in](http://www.isro.gov.in).
9. "IRNSS signal in space ICD for standard positioning service," v. 1.0, June 2014, ISRO/IRNSS-ICD-SPS-1.0, Indian Space Research Organization (ISRO), Bangalore.
10. Carrano, C.; Groves, K. "Ionospheric data processing and analysis," *Proc. of Workshop on Satellite Navigation Science and Technology for Africa*, March 23 – April 9, 2009, The Abdus Salam ICTP, Trieste, Italy. 2009.
11. Hofmann-Wellenhof, B.; Lichtenegger, H.; Collins, J. *Global Positioning System*, 5th ed. Springer-Verlag Wien, 2001. DOI: [10.1007/978-3-7091-6199-9](https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6199-9).

Поступила в редакцию 10.06.2017

После переработки 28.05.2018