

6. Alken, P. International Geomagnetic Reference Field: the thirteenth generation, Earth/ P. Alken // Planets and Space. – 2021. – Vol. 73.
7. Meeus, J. Astronomical algorithms, 2nd ed. / J. Meeus. – Willmann-Bell Inc., 1998.
8. Markley, L.F. Fundamentals of spacecraft attitude determination and control / L. F. Markley, J. L. Crassidis. – Springer, 2014.
9. Schaub, H. Analytical mechanics of space systems, 2nd ed. / H. Schaub, J. L. Junkins. – American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2009.
10. Liu, Y. A ground testing system for magnetic-only ADCS of nano-satellites / Y. Liu, K. Liu, Y. Li, Q. Pan, J. Zhang // Proceedings of 2016 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference. – 2016. – P. 1644–1647.

УДК 550.388.2:551.510.413.5

Николаев П.Н., Кононенко В.В., Титов Н.С.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ РАДИОТОМОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ НАНОСПУТНИКОВ

Ионосфера – слой земной атмосферы с высокой концентрации свободных электронов и ионов. Навигационные спутники посылают сигналы сквозь ионосферу, которая их искажает, внося погрешности в расчёты координат приёмников. Так же одно из свойств ионосферы – это отражение длинных радиоволн, что позволяет обеспечивать связь на дальние расстояния, когда прямой сигнал не дойдёт в силу рельефа и формы Земли. Мониторинг ионосферы актуален в прикладном аспекте для прогнозирования условий распространения коротких волн в спутниковых системах навигации и связи [1].

Согласно комитету по космическим исследованиям COSPAR, исследование ионосферы также актуально и в фундаментальном аспекте: текущий прогноз электронной плотности в высоком разрешении и краткосрочный прогноз на основе полученных данных близких к реальному времени, уточнение результатов модели близкой к реальному времени и общее состояние ионосферы [2].

В Самарском университете ведётся разработка наноспутников формата CubeSat. Текущий проект – наноспутник SamSat-ION, который будет запущен на круговую солнечно-синхронную орбиту с наклоном – $97,5^\circ$, периодом обращения – 94,74 мин и апоцентром – 550 км, которая является типовой орбитой для запуска спутников формата CubeSat. На борту SamSat-ION в качестве полезной нагрузки выступают навигационный приёмник, датчик параметров плазмы (разработка Институтом прикладной физики РАН), производящий измерения электронной концентрации контактным методом [3], и выносной магнитометр на

штанге. Навигационный приёмник, устанавливаемый на наноспутник, способен принимать сигналы навигационных спутников ГЛОНАСС на двух частотах: $L_1=1575,42$ МГц и $L_2=1227,6$ МГц. Навигационный приёмник на SamSat-ION выдаёт «сырые» измерения на двух частотах таких величин как псевдодальности, фазы несущего колебания и доплеровские задержки частот. На основании обработки значений псевдодальностей и фаз, полученных на двух частотах, возможно вычисление значений ПЭС и проведение томографического эксперимента по оценке электронной концентрации ионосферы и выявлению ионосферных возмущений.

Запуск наноспутника SamSat-ION на заданную орбиту позволит проводить томографические эксперименты в областях, схематически изображённых на рис. 1. В область 1 входит верхняя ионосфера выше F слоя, характеризующаяся влиянием на распространение коротких радиоволн, и плазмосфера – область пространства вокруг Земли в диапазоне высот от 1000 до 20000 км, на нижней границе которой происходит скачкообразное уменьшение концентрации плазмы. Область 2 включает нижнюю ионосферу ниже F слоя, особенностью которой является быстрая изменчивость и значительное влияние на распространение средних и коротких радиоволн, отражающихся от этих областей ионосферы.

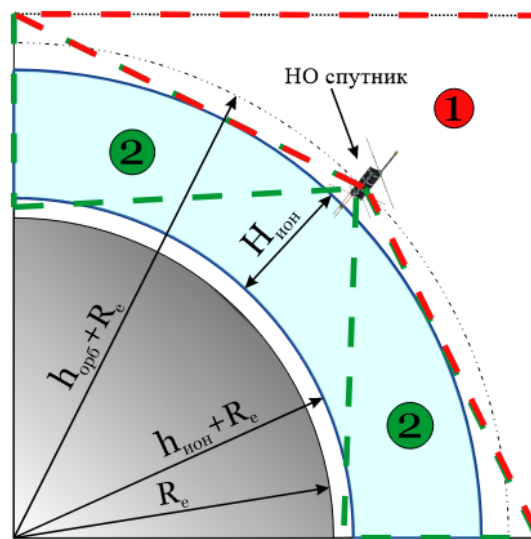


Рис. 1. Области исследования ионосферы наноспутником SamSat-ION: R_e – средний радиус Земли; $h_{орб}$ – высота орбиты наноспутника SamSat-ION; $h_{ион}$ – высота начала нижнего слоя ионосферы; $H_{ион}$ – толщина ионосферы

Для обработки томографических данных с наноспутника SamSat-ION, разработана методика пассивной радиотомографии ионосферы с использованием низкоорбитального спутника, принимающего сигналы спутников глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС. Разработанная методика верифицирована на данных группировки FormoSat-7/COSMIC-2.

Следующий проект Самарского университета – это наноспутник формата CubeSat 3U SamSat-Маяк, предназначенный для проведения низкоорбитальной томографии ионосферы методом радиочастотного зондирования с использованием прибора «Маяк», разработки Института космических исследований РАН, работающего на частотах 150 и 400 МГц. Данная миссия имеет следующие особенности: высокая разрешающая способность по времени; получение двумерных сечений электронной концентрации за времена порядка 10-20 минут; возможность исследования не только более быстрых ионосферных процессов но и ионосферных возмущений, порождаемых антропогенными источниками; высокая пространственная разрешающая способность – 20-30 км по горизонтали и 30-40 км по вертикали; возможность развёртывания мобильной радиотомографической цепочки приёмников, дополняющей стационарные приёмники. На рис. 2 представлена схема измерений.

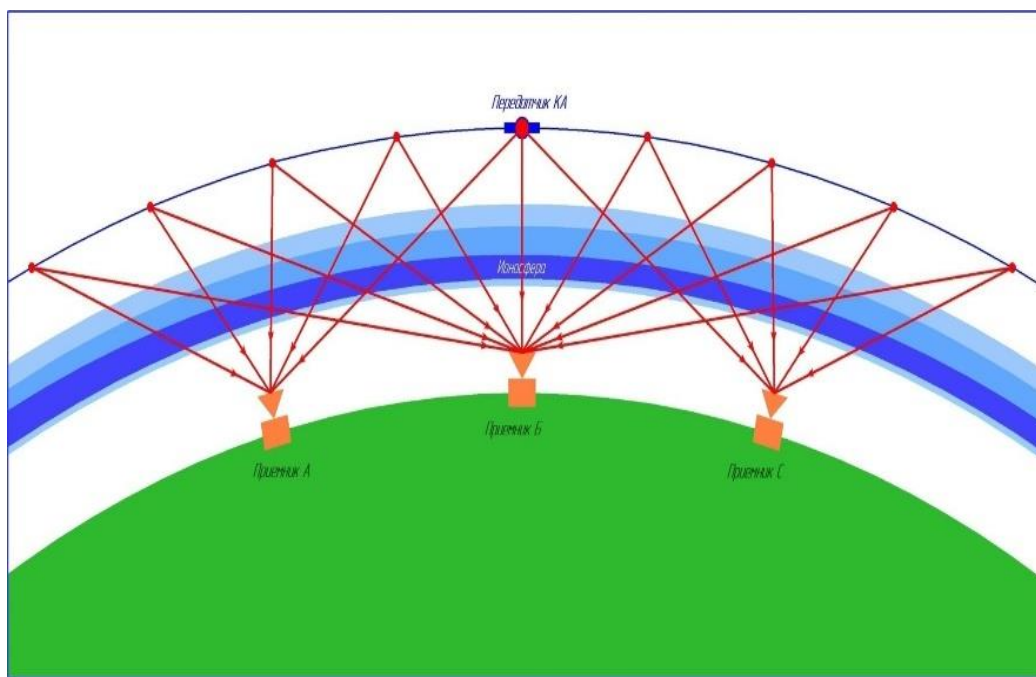


Рис. 2. Схема проведения измерений

Для заданной геометрии зондирования разработан быстродейственный алгоритм, использующий метод свёртки для реконструкции электронного профиля ионосферы.

Работа выполнена в рамках проекта 0777-2020-0018, финансируемого из средств государственного задания победителям конкурса научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России.

Библиографический список

1. Hofmann-Wellenhod, B. Global Positioning System. Theory and Practice / B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, J. Collins – New York: Springer Verlag Wien, 2001 – 382 p.
2. Understanding space weather to shield society: A global road map for 2015-2025 commissioned by COSPAR and ILWS [Электронный ресурс] / C.J. Schrijver [и др.] // Adv. Space Res. 55 (12), 2745–2807 (2015) – URL: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.03.023> (дата обращения 03.06.2022).
3. Wide-range measurements of plasma density using a hairpin resonance microwave probe / A. G. Galka [и др.] – Journal of Applied Physics 125, 124501 (2019).

УДК 520.6.05

Самадов М.А., Николаев П.Н.

СОЗДАНИЕ ЗВЁЗДНОГО ДАТЧИКА, ИНТЕГРИРОВАННОГО В НАНОСПУТНИКОВУЮ ПЛАТФОРМУ SAMSAT

При создании новой аппаратуры любого назначения в том числе и приборов ориентации космических аппаратов по звёздам, всегда имеется необходимость на начальных этапах их проектирования рассматривать различные варианты исполнения, оценивать их параметры. С этой целью используются следующие подходы: математическое моделирование, полунатурное моделирование, макетирование и др. Создание звёздного датчика требует специализированное программное обеспечение для определения ориентации наноспутника (НС) в пространстве.

Создание звёздного датчика (ЗД) начинается с обзора существующих моделей. Анализ позволяет заметить определённые слабые качества, что позволяет улучшать эти характеристики ЗД для НС. Предлагается создать недорогой ЗД, который может быть интегрирован в наноспутниковую платформу SamSat.

Процесс создания ЗД разделяют на три блока (рис.1). В первом блоке решаются задачи оптики, то есть выбирается оптическое поле зрения и линзовая оптическая система для ЗД. Выбирается самое оптимальное поле зрения, которая равна 40° и размеры объектива камеры ЗД не превышают одного юнита НС платформы SamSat.