

Устойчивость спутниковых навигационных систем к геомагнитным и ионосферным возмущениям: статистическая оценка частоты сбоев по данным мониторинга полной электронной концентрации

М. А. Тутова

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г. Москва, г. Троицк, Россия
e-mail: mtitova@izmiran.ru*

Спутниковые навигационные и связные системы, в общем и целом, утвердились в использовании не только для научных целей, но и в повседневной жизни. Современные методы трансionoсферного радиозондирования охватывают вопросы проектирования навигационных систем и широкий спектр текущих и перспективных применений ГНСС, таких как GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou. Области применения включают мониторинг климата, авиацию, телекоммуникации, геодезию, безопасность и логистику. Особенно это справедливо при освоении новых или удаленных территорий с неразвитой в силу целого ряда причин инфраструктурой. Все эти направления предъявляют повышенные требования к качеству и оперативности данных, которые напрямую зависят от состояния околоземного космического пространства (ОКП). Динамический режим ионосферы является основным фактором космической погоды; распространение радиоволн в ней приводит к взаимодействию с плазмой, что обуславливает нестационарность параметров сигналов. В настоящее время только две спутниковых системы обеспечивают общедоступное, полное и бесперебойное покрытие земного шара – GPS и ГЛОНАСС.

В работе изучена динамика появления сбоев параметров навигационных сигналов системы GPS за период 2010–2014 гг. для станций сетей IGS и CHAIN, расположенных в Арктическом регионе. На основе практически непрерывных наблюдений (более 8 млн часов) на почти 200 приемных станциях исследованы вероятности «инструментальной» потери фазы и псевдодальности, а также кратковременных вариаций скорости изменения полного электронного содержания (ТЕС) в различных геомагнитных условиях. Под сбоями понимаются два типа явлений: технические потери измерений из-за работы электронных компонентов или сильного поглощения, и исследовательские аномалии – резкие вариации ТЕС, не имеющие физического смысла (например, скачки скорости изменения ТЕС 2–5 TECU/мин при норме менее 1 TECU/мин).

Для определения параметров геомагнитных возмущений использовались высокоширотные магнитные индексы AL, AU, AE, так как стандартные индексы Dst и SYM-H мало пригодны для описания суббурь в высоких широтах. Анализ проводился с использованием часовых усреднений индексов и совместных данных магнитометров и риометров.

Полученные результаты показывают, что вероятность сбоев при определении ТЕС значительно (в 100–200 раз) превышает чисто инструментальные шумы и возрастает во время геомагнитных бурь. Вероятность сбоев по фазе на частоте L_2 больше, чем на частоте L_1 , в 5–10 раз для бурь класса G3. Это обусловлено конструктивной особенностью GPS (мощность сигнала на f_2 на 3 дБ ниже, чем на f_1) и усилением поглощения при высыпании частиц. Вероятность скачков производной ТЕС со скоростью более 1 TECU/мин растет в 6–15 раз, а для скорости более 2 TECU/мин — в 4–10 раз.

Анализ проводился для масок угла возвышения 10° , 15° и 20° . Показано, что вероятность сбоев для углов возвышения более 20° уменьшается в среднем на 15–20% по сравнению с углом 10° . Первые два угла соответствуют практике изучения ионосферы и околоземного космического пространства, последний рекомендован для навигационных приложений.

Автор выражает благодарность кафедре Физики атмосферы физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова за предоставленную возможность использования пакета прикладных программ CRASS GPS, доценту к. ф.-м. н. Захарову В. И.