

Флуктуации амплитуды сигналов спутниковых навигационных систем

В.М. Смирнов, Е.В. Смирнова

*Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН (ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН)
141190 г. Фрязино, пл. Б.А. Введенского, 1
E-mail: vsmirnov@fireras.su*

Представлены результаты регистрации и обработки данных среднеорбитальных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. Показано, что вариации амплитуды принимаемых сигналов диапазонов L_1 (1,6 ГГц) и L_2 (1,2 ГГц) могут существенно изменяться по форме.

Ключевые слова: спутниковые системы, сигналы, амплитуда, ионосфера

The amplitude fluctuations of satellite navigation system signals

V.M. Smirnov, E.V. Smirnova

Kotel'nikov IRE RAS

The results of registration and processing of data from medium-orbit satellite systems GLONASS and GPS are presented. It is shown that variations in the amplitude of the received signals in the L_1 (1.6 GHz) and L_2 (1.2 GHz) bands can significantly change in shape.

Keywords: satellite systems, signals, amplitude, ionosphere

Введение

Наибольшее влияние на качество сигналов спутниковых радионавигационных систем оказывает ионосфера Земли. Навигационные сигналы при их трансionoсферном прохождении через ионосферу испытывают фазовые и амплитудные флуктуации, которые обусловлены эффектами рефракции и дифракции на ионосферных неоднородностях [1-3]. Флуктуации могут вызывать сбои навигационных сигналов, скачки фазы и, в конечном итоге, могут приводить к нарушениям работы навигационных систем [4-5]. Фазовые флуктуации более чувствительны к наличию неоднородностей, чем амплитудные. Медленные флуктуации, обусловленные рефракцией сигналов на крупномасштабных неоднородностях, характеризуют флуктуации полного электронного содержания вдоль луча спутник-приемник.

Результаты экспериментальных наблюдений

Для проведения экспериментальных наблюдений использовался аппаратно-программный комплекс оперативного мониторинга ионосферы. В состав комплекса входит навигационный приемник NovAtel ProPak-V3, позволяющий регистрировать параметры сигналов навигационных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС с дискретностью 1 секунда.

Конструктивно приемник выполнен в моноблочном корпусе из магниевого сплава, на торцевой панели которого расположены порты связи для подключения внешних устройств. Настройка приемника для работы в определенном режиме осуществляется с помощью компьютера. Для связи с внешними устройствами приемник оборудован последовательными портами RS232 и портом USB.

Для приема сигналов спутниковых навигационных систем использовалась специализированная антенна GPS-702-GG. Антенна приемника располагалась на крыше здания на высоте более 15 метров над поверхностью земли. Она является активной,

обладает высокостабильным фазовым центром и предназначена для работы с сигналами в следующих частотных диапазонах:

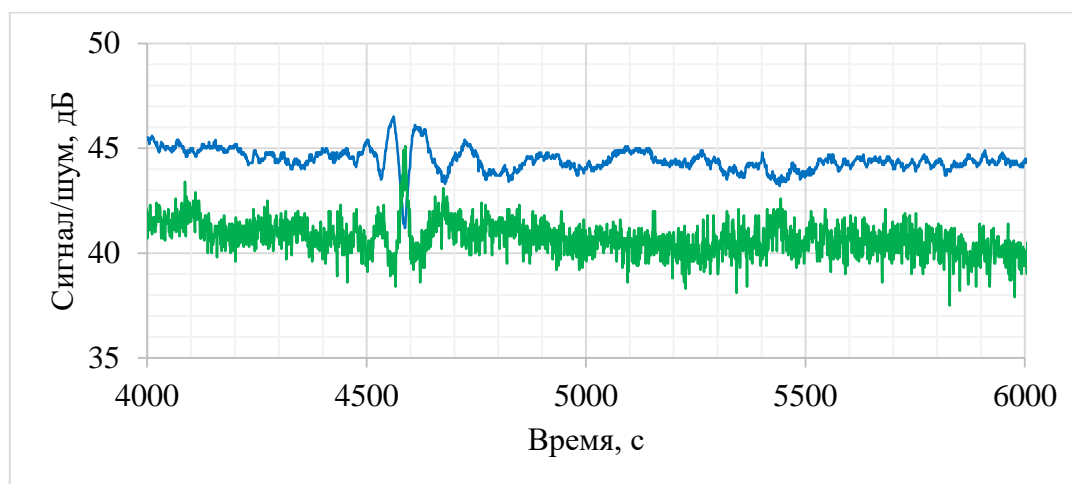
система GPS – частоты L1 (1575,42 МГц) и L2 (1227,60 МГц);

система ГЛОНАСС - частоты L1 (1598,0 – 1611,5 МГц) и L2 (1245,5-1254,3 МГц).

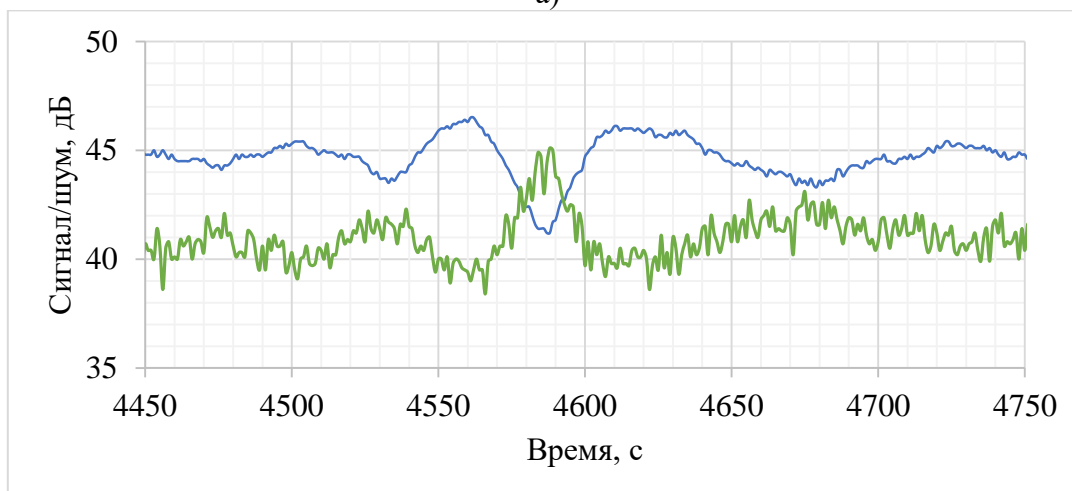
Для подавления многолучевости в антенне применена технология Pinwheel™ компании NovAtel, которая обеспечивает существенное устранение эффекта многолучевого приема и стабильность положения фазового центра. Кольца с общим центром в антеннах с технологией Pinwheel™ подавляют отражённые сигналы с земли, что повышает чувствительность. Коэффициент усиления антенны 27 дБ.

На рис. 2 и 3 представлены результаты наблюдения амплитуды сигналов L1 и L2 для двух спутников системы GPS от 25 мая 2025 года. На оси абсцисс показано время в секундах от начала суток.

На рис. 2 и 3 (увеличенный фрагмент на рис. 2а и 3а) хорошо видно, что вариации отношения сигнал/шум для представленных интервалов времени носят «противофазный» характер. При этом, максимальный размах изменения параметра сигнал/шум для спутника №17 составляет 5 дБ и 6,6 дБ для частот L1 и L2, соответственно. Для спутника №14 – 6,1 дБ и 10,3 дБ, соответственно. Характер такого изменения данного параметра невозможно объяснить многолучевым распространением или влиянием ионосферы.



а)



б)

Рис. 2. Отношение сигнал/шум для спутника GPS №17 от 25 мая 2025 года.

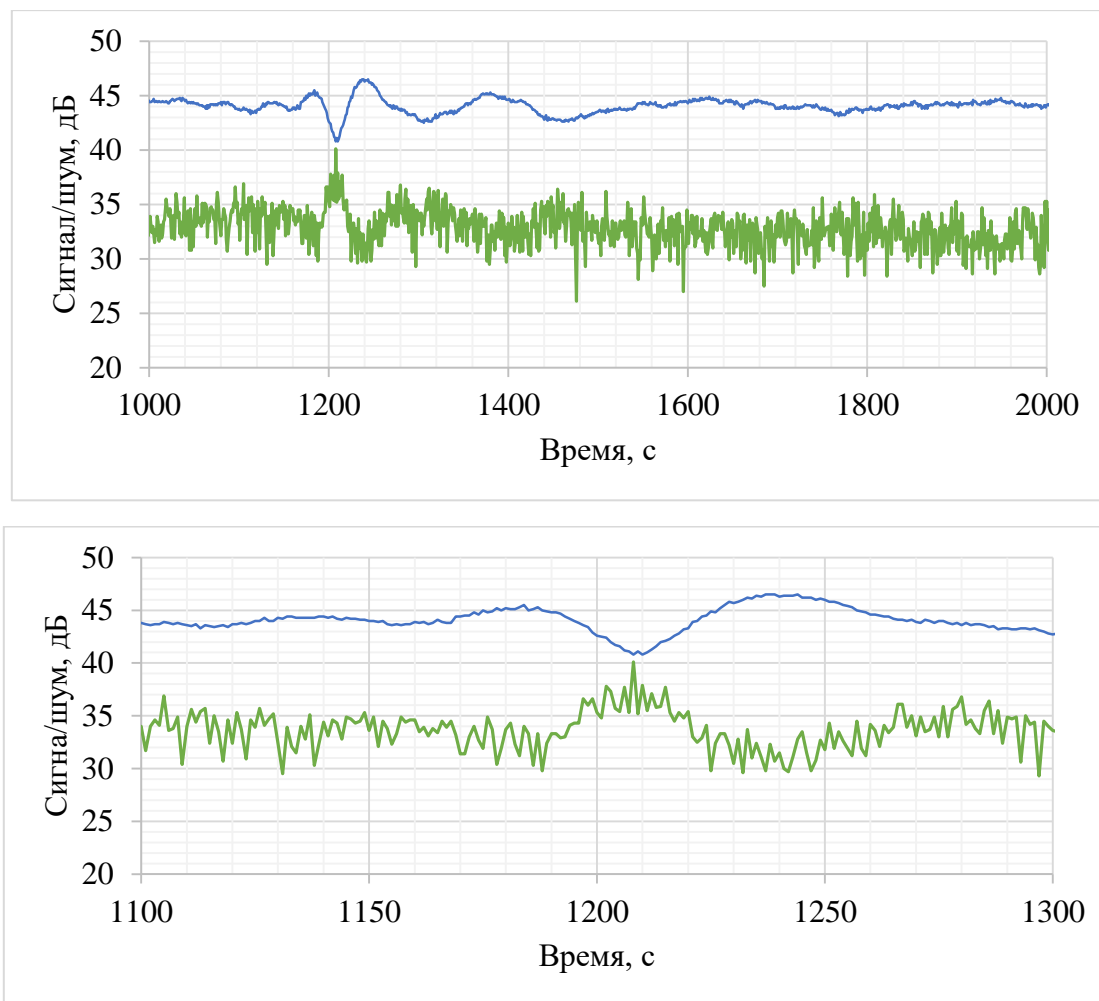
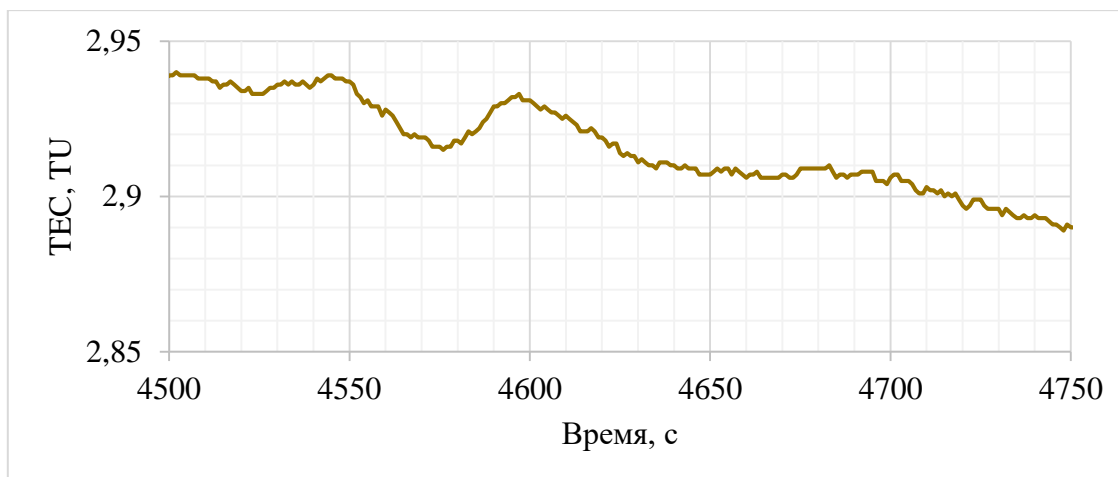


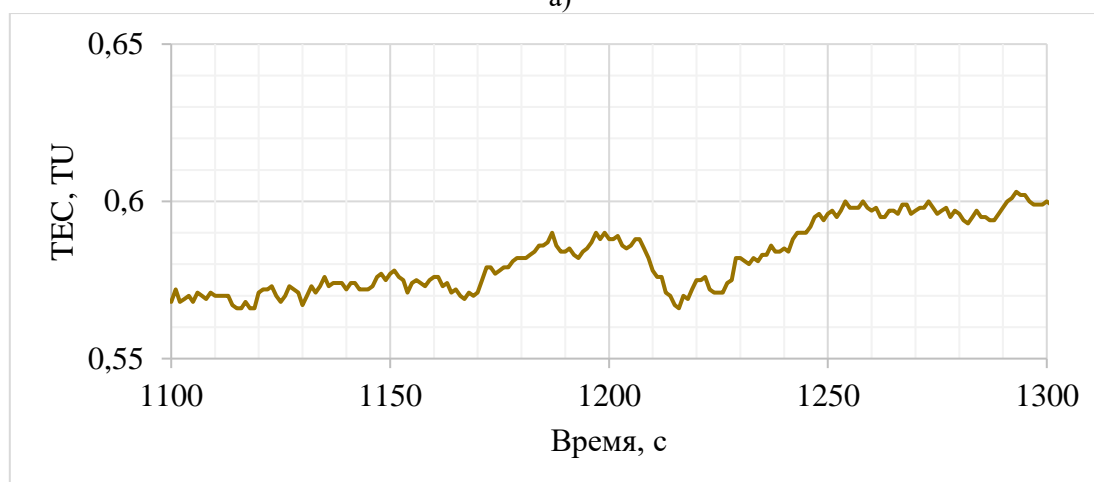
Рис. 3. Отношение сигнал/шум для спутника GPS №14 от 25 мая 2025 года.

Рассматриваемые спутники в указанные для них моменты времени наблюдались при достаточно высоких углах места и близких азимутальных направлениях: для спутника №17 угол места – $54,78^\circ$ и азимут $82,47^\circ$, для спутника №14 угол места – $58,55^\circ$ и азимут $77,51^\circ$. Кроме этого, используемая антенна GPS-702-GG, как уже отмечалось, обеспечивает существенное устранение эффекта многолучевого распространения и стабильность положения фазового центра. Высокое расположение антенны над поверхностью земли и географический ландшафт прилегающей территории в указанном направлении также не способствуют возникновению эффектов многолучевого распространения радиоволн. Лесной массив, расположенный в данном направлении, как неоднородная, анизотропная и слоистая среда эффективно рассеивает и ослабляет мощность отраженного сигнала [6-8].

Что касается состояния ионосферы в наблюдаемый момент времени, то здесь также не наблюдалось каких-либо особенностей. Характер изменения полного электронного содержания ионосферы вдоль трассы распространения навигационного сигнала представлен на рис. 4. Вариации полного электронного содержания не превышали в указанный момент времени $0,05 \text{ TU}$ ($1 \text{ TU} = 10^{16} \text{ эл/м}^2$), что соответствует практически точности определения этого параметра по данным навигационных определений. Такое значение не может привести к каким-либо заметным изменениям в отношении сигнал/шум. Здесь стоит обратить внимание, что времена столь незначительных изменений в значениях электронного содержания совпадают с изменениями в отношении сигнал/шум.



а)



б)

Рис. 4. Полное электронное содержание ионосферы вдоль трассы распространения навигационного сигнала для спутника №17 а) и №14 б).

Выводы

Представлены результаты регистрации и обработки данных среднеорбитальных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. Показано, что вариации отношения сигнал/шум для некоторых интервалов времени, угла места наблюдений и направлений носят «противофазный» характер. Амплитуда таких вариаций на частоте L2 может достигать 10 и более дБ, на частоте L1 – более 6 дБ. Влиянием факторов многолучевого распространения радиоволн или состоянием ионосферы такой характер вариаций не может быть объяснен.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН.

Литература

1. Kintner P.M., Ladvin V.M., Paula E.R. GPS and ionospheric scintillations. Space Weather. 2007. V.5. Art. No. S090003.
2. Пашинцев В.П., Солчатов М.Э., Гахов Р.П. Влияние ионосферы на характеристики космических систем передачи информации: монография. – М., Физматлит, 2006. 184 с.
3. Смирнов В.М., Смирнова Е.В. Спутниковые навигационные системы как источник определения особенностей распространения радиоволн по ионосферным радиоперелиниям. //Журнал радиоэлектроники, 2022, № 9.

4. Захаров В.И., Ясюкевич Ю.В., Титова М.А. Влияние магнитных бурь и суббурь на сбои навигационной системы GPS в высоких широтах. //Космические исследования, 2016, том 54, №1. С 1-11.
5. Шагимурастов И.И., Филатов М.В., Ефишов И.И., Тепеницына Р.Ю., Якимова Г.А. Флуктуации навигационных сигналов и ошибки позиционирования над Европой в марте 2015 года. //Известия РАН. Серия физическая, 2022, том 86, №3. С.310-315.
6. Миронов В.Л., Сорокин А.В., Михайлов М.И. и др. Метод измерения ослабления микроволнового излучения в лесном пологом с использованием сигналов ГЛОНАСС и GPS. //Вестник СибГАУ, 2013, том 51, №5. С.123-126.
8. Сорокин А.В., Подопрigора В.Г., Макаров Д.С. Рассеяние сигналов навигационных спутников на пространственных неоднородностях леса. //Решетневские чтения, 2017. С.416-417.