

ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОБНАРУЖЕНИЮ ГЕНЕРАЦИИ СВЕРХМЕЛКОМАСШТАБНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ИОНОСФЕРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ

А.А. Галиуллин, И.А. Насыров

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
www.ag95@mail.ru

SETTING UP THE EXPERIMENT FOR DETECTING THE GENERATION OF ARTIFICIAL SMALL-SCALE IONOSPHERIC IRREGULARITIES

V.V. Cheremisin, S.V. Voeykov

Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia
www.ag95@mail.ru

Аннотация. В данной работе представлена программа, разработанная для планирования будущего эксперимента по обнаружению генерации сверхмелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностей, стимулированных мощным радиоизлучением стенда «Сура».

Ключевые слова: ионосфера, сверхмелкомасштабные неоднородности, ракурсное рассеяние, ГЛОНАСС.

Abstract. The program developed to planning of the artificial small scale irregularities generation detection experiment, stimulated by powerful radio emission of SURA facility are presented in this paper.

Keywords: ionosphere, small scale irregularities, backscattering, GLONASS.

При воздействии мощной радиоволны на ионосферу с частотой, равной частоте собственных колебаний плазмы возникает резонансное взаимодействие и происходит генерация неоднородностей, сильно вытянутых вдоль магнитного поля Земли. Они имеют размер 5–10 м поперек и до 10 км вдоль магнитного поля. Теоретически предсказано [Гуревич, 2007; Gurevich, Zybin, 2006], что если частота волны накачки одновременно будет кратна частоте гиромангнитного вращения электронов (гиромангнитный резонанс), то возможно генерация нового вида неоднородностей ионосферной плазмы, поперечный размер которых составляет порядка нескольких десятков сантиметров, называемых сверхмелкомасштабными (СММ). На данный момент, есть только косвенные экспериментальные свидетельства генерации СММ-неоднородностей вблизи двойного гирорезонанса [Ponomarenko et al., 1999]. Поэтому, нами была выдвинута идея нагревного эксперимента с целью их детектирования.

Предполагается использовать метод ракурсного рассеяния радиоволн для детектирования анизотропных магнитоориентированных сверхмелкомасштабных ионосферных неоднородностей, сгенерированных мощным радиоизлучением стенда «Сура» [Насыров, 1991]. По результатам теоретических расчетов, волны очень высокой частоты (до 1–3 ГГц) будут испытывать сильное ракурсное рассеяние. Планируется использовать сигналы глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в качестве пробных радиосигналов, поскольку частота ГНСС-сигналов совпадает с частотами, при которых будет происходить эффективное рассеяние. В навигационной системе ГЛОНАСС используется частотное разделение каналов. Спутники передают сигналы на разной частоте, что облегчает определения спутника, с которого передавался рассеянный сигнал. Поэтому именно спутниковая система ГЛОНАСС является наиболее подходящей для данных целей. В качестве приемного пункта выбрана Астрономи-

ческая обсерватория им. В.П. Энгельгардта Казанского государственного университета (АОЭ), расположенная в 20 км к западу от Казани.

Также необходимо обеспечить контроль за искусственным радиоизлучением ионосферы (ИРИ), возникающим в возмущенной области. Результаты ранних экспериментальных наблюдений показывают [Stubbe et al., 1994], что в спектре ИРИ появляется пик, сдвинутый выше частоты волны накачки. Он назван широким сдвинутым в верх максимумом (ШСВМ, BUM). Считается, что появление максимума излучения определяется бернштейновскими модами — продольными волнами плазмы, возникающими вблизи области двойного гиромангнитного резонанса. Согласно теории [Gurevich, Zybin, 2006] именно рассеяние бернштейновских волн на сверхмелкомасштабных неоднородностях ионосферной плазмы определяет генерацию ШСВМ в спектре искусственного радиоизлучения, что и указывает на возникновение данных неоднородностей.

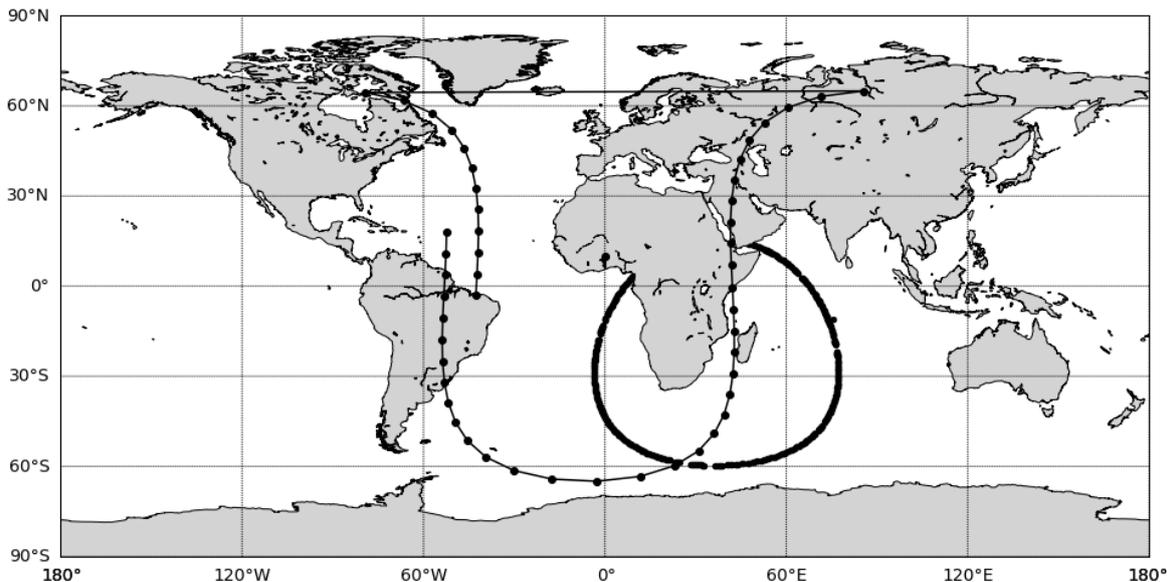
Целью данной работы является разработка программы для расчета местоположений спутников, при которых возможен прием сигналов, рассеянных на неоднородностях.

Программа состоит из нескольких частей (модулей):

- orbit_icd_gln_main — главная часть программы;
- read_rinex_nav_gln — подпрограмма для считывания данных из файлов формата RINEX;
- scatter_contour — модуль для расчета контуров ракурсного рассеяния;
- orbit_icd_gln_module — в котором находятся необходимые дополнительные функции.

Начальные данные — о положении спутника в определенный момент времени и составляющие вектора скорости (эфемериды) получены из навигационных сообщений ГЛОНАСС в формате RINEX. Чтение данных выполняется при помощи функции из модуля read_rinex_nav_gln.

Функция для расчета координат контуров ракурсного рассеяния находится в модуле scatter_contour.



Проекция траектории спутника ГЛОНАСС и контура ракурсного рассеяния, полученные в результате выполнения программы

Необходимо было учесть особенности расположения антенных систем нагревных стендов, зависимость направления силовых линий магнитного поля от географических координат и высотой над поверхностью Земли. Поэтому, при расчетах используются системы координат, учитывающие симметрию зеркального конуса относительно магнитного меридиана пункта нагрева. Первая — декартова система с началом в центре Земли, осью Z' , направленной в зенит пункта нагрева и плоскостью $X'OZ'$, лежащей в плоскости магнитного меридиана пункта нагрева. Вторая — сферическая система $\lambda'\varphi'$ с полюсом в пункте нагрева, нулевым меридианом, лежащим в плоскости $X'OZ'$ и экватором в плоскости $X'OY'$.

В `orbit_icd_gln_main` происходит расчет траекторий спутников системы ГЛОНАСС и построение на карте проекций орбиты спутника и контуров ракурсного рассеяния. Для расчета траекторий космических аппаратов используется алгоритм пересчета эфемерид на текущий момент времени, описанный в [ИКД ГЛОНАСС, 2008]. Пересчет проводится интегрированием уравнений движения космических аппаратов методом Рунге–Кутты четвертого порядка. Для интегрирования используется функции из библиотеки `Scipy`, предназначенной для научных расчетов. Для построения карты используется библиотека `Matplotlib`.

На рисунке показан результат работы программы. Предложенный алгоритм позволяет определять временные интервалы, в которых возможен прием сигналов рассеянных на анизотропных искусственных неоднородностях, стимулированных мощным стендом «Сура».

При такой постановке эксперимента возможно надежное детектирование генерации сверхмелкомасштабных неоднородностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2 (редакция 5.1). М., 2008. 74 с.
- Гуревич. А.В. Нелинейные явления в ионосфере // Успехи физических наук. 2007. Т. 77, № 11. С. 1145–1147.
- Насыров А.М. Рассеяние радиоволн анизотропными ионосферными неоднородностями. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1991. 148 с.
- Gurevich A.V. Zybin K.P. Strong field aligned scattering of UHF radio waves in ionospheric modification // Phys. Lett. A. 2006. V. 358, N 2. P. 159–165.
- Ponomarenko P.V., Leyser T.B., Thidé B.J. New electron gyroharmonic effects in HF scatter from pump-excited magnetic field-aligned ionospheric irregularities // J. Geophys. Res. 1999. V. 104, N A5. P. 10081–10087.
- Stubbe P., et al. // J. Geophys. Res. 1994. V. 99, N A4. P. 6233.