

УДК 528.8

АНАЛИЗ РАДИОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

ШКЛЯНИК Е. И., ДАВЫДЕНКО И. Н.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Беларусь)*

Аннотация. Приведен краткий обзор основных радиофизических методов исследования ионосферы, которые являются основными в ряду других методов. Наиболее перспективными с точки зрения получения информации о состоянии ионосферы и определения параметров каналов связи (декаметровых радиолиний) являются средства, использующие вертикальное и трансionoсферное зондирование, обладающие широким спектром решаемых задач, автономностью и возможностью компактного размещения.

Ключевые слова: ионосфера, декаметровая радиосвязь, неоднородности ионосферы, зондирование ионосферы.

Abstract. A brief overview of the main radiophysical methods for studying the ionosphere, which are the main ones in a number of other methods, is given. The most promising from the point of view of obtaining information about the state of the ionosphere and determining the parameters of communication channels (decameter radio lines) are the means using vertical and trans-ionospheric sounding, having a wide range of tasks to be solved, autonomy and the possibility of compact placement.

Keywords: ionosphere, decameter radio communication, ionospheric inhomogeneities, ionospheric sounding.

Введение

Декаметровая радиосвязь в последние годы получила стремительное развитие во всех сферах. Она основана на распространении радиоволн путем отражения их от слоев ионосферы, что связано с рядом эффектов, негативно влияющих на организацию связи и её качество. Ионосфера не является статистически однородной средой и вариации её параметров (например, электронной концентрации в каждом из слоев) требуют учета при планировании радиосвязи и назначении частот. Для их учета проводится прогнозирование: долгосрочное (более 5 суток), краткосрочное (1-5 суток) и оперативное (12-24 часа). Однако, в ряде случаев, оперативное прогнозирование не дает полной картины состояния ионосферы, а иногда и просто «не успевает» за её изменением. Такое наиболее часто наблюдается в высокоширотной ионосфере, особенно в периоды северных сияний.

Отдельно стоит отметить возмущения ионосферы, вызываемые антропогенными факторами различного характера – искусственные возмущения ионосферы. Искусственные возмущения ионосферы могут быть вызваны намеренно, и рядом стран ведется активная деятельность по совершенствованию средств деструктивного воздействия не на сами системы и средства связи, а на разрушение радиоканалов передачи информации, то есть создание таких условий в среде распространения радиоволн, при которых бы наблюдались перерывы в связи (и радионавигации), замирания различного характера (общие, частотноселективные и пространственно-селективные), невозможность обеспечить прием сигналов с требуемой помехоустойчивостью. Основной идеей при этом является модификация параметров среды распространения радиоволн за счет внешнего воздействия – иными словами, создания искусственных ионосферных образований (ИИО), способных рассеивать, отражать и поглощать радиоволны [1].

Нестационарность ионосферы, как среды распространения радиоволн, позволяет сделать вывод и о нестационарности параметров декаметровых радиолиний.

Причиной нестационарности ионосферы являются перемещения мелкомасштабных неоднородностей ионосферы. Эти неоднородности характеризуются флуктуациями электронной концентрации (ЭК), которые возникают из-за различных факторов (солнечное и искусственное излучение, распыление легкоионизирующих химических веществ, радионагрев) и распределены неоднородно по высоте и по пространству. С ростом высоты величина флуктуаций ЭК возрастает пропорционально увеличению среднего (фонового) значения ЭК. Поэтому отношение

среднеквадратического отклонения (СКО) флуктуаций ЭК к среднему значению ЭК на любой высоте примерно постоянно. Это отношение также называют интенсивностью неоднородностей ЭК ионосферы]. Эта статистическая характеристика может служить в качестве оценки уровня диффузности ионосферы [2].

Выделим несколько методов для получения информации о состоянии ионосферы (среды распространения):

- 1) вертикальное зондирование ионосферы;
- 2) наклонное зондирование ионосферы;
- 4) трансionoсферное радиозондирование.

Методы зондирования ионосферы

Метод вертикального зондирования (ВЗ) предполагает использование ионозонда, расположенного на поверхности Земли (ионозонды «Парус», «Авгур», «Бизон», Dynasonde-21, Digisonde). Метод ВЗ является самым чувствительным и информативным методом исследования и контроля состояния ближнего космоса, т.е. до достижения высоты максимума ионизации.

При этом метод ВЗ позволяет определить среднее значение критической частоты ионосферы, необходимое для расчета максимально применимой частоты (МПЧ) и выбора оптимальной рабочей частоты декаметровая радиолинии.

Применимость метода ВЗ возможна только лишь для оценки состояния ионосферы над станцией зондирования, для глобального мониторинга нужна распределенная сеть станций ВЗ.

Наклонное зондирование ионосферы (НЗ) – модификация ВЗ, при которой осуществляется разнос приёмной и передающей систем.

Метод НЗ даёт как возможность прямого экспериментального исследования прохождения радиоволн на фиксированной дальности, так и возможность оценки состояния ионосферы в области средней точки радиотрассы на расстояниях однокачкового прохождения. Метод НЗ обладает возможностями исследования радиофизических проявлений локализованных искусственных ионосферных возмущений [3]. Зондирование может проводиться также с использованием сигналов с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМсигналов).

Результатом наклонного радиозондирования ионосферы является ионограмма НЗ, которая показывает частотную зависимость группового запаздывания сигналов, прошедших различными путями в ионосфере, в точке приёма, т. е. модовую структуру волнового поля. Диффузность на ионограммах НЗ проявляется также в виде размытия линий запаздывания сигнала. По ионограммам НЗ возможно определить критическую частоту для конкретной радиолинии, которая может быть полезна для расчета максимально применимой частоты на этой радиолинии путем пересчета ионограмм НЗ в ионограммы ВЗ.

Разновидностью метода НЗ можно считать случай совмещения пунктов излучения и приёма с промежуточным обратным отражением (рассеянием) от земной поверхности – метод возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ). Разрешающую способность метода НЗ ограничивает дисперсионное искажение при расширении полосы зондирующего сигнала и рассеяние на мелкомасштабных неоднородностях.

Метод НЗ для мониторинга ИИО возможен при проведении оценки состояния ионосферы на конкретных радиотрассах, а при использовании частного случая – ВНЗ – на любых направлениях и ограничивается лишь возможностью применения мощных передатчиков на станциях ВНЗ.

Внешнее зондирование (ВнЗ) напоминает риометрический метод, но в отличие от него использует искусственные ионозонды, расположенные на борту искусственных спутников Земли. Метод позволяет охватывать большие территории. В рамках внешнего зондирования следует рассматривать методы трансionoсферного зондирования и радиотомографию атмосферы.

Трансионосферное радиозондирование (ГИЗ) использует сквозное зондирование атмосферы сигналами высокой радиочастоты от 5-12 МГц до 20 ГГц. Наибольшее распространение трансionoсферное зондирование получило с появлением спутниковых радионавигационных систем (СРНС). При этом используется факт приема сигналов аппаратурой потребителя на двух несущих частотах, что позволяет определить полное электронное содержание (ПЭС) вдоль трассы распространения радиосигналов. В качестве аппаратуры потребителя могут использоваться приемники «Trimble GNSS» и «NovaTel» [4]. В отличие от

метода ВЗИ метод ТИЗ не предполагает наличия передатчика, что является серьёзным преимуществом.

Заключение

В статье проведен анализ радиофизических методов исследования ионосферы, применяемых для получения информации о состоянии ионосферы (среды распространения) и каналов связи (декаметровых радиолиний).

Обзор способов, применяющихся для зондирования ионосферы (в том числе в интересах декаметровой радиосвязи), позволил сделать следующий вывод.

Для проектирования адаптивных систем декаметровой радиосвязи в настоящее время применяются данные о критических частотах слоев ионосферы, получаемые из ионограмм (при ВЗ и НЗ) и при восстановлении профиля ЭК при ТИЗ. Полученные данные позволяют произвести расчет максимальной применимой частоты и на его основе осуществить выбор оптимальной для конкретной радиолинии рабочей частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Благовещенская Н. Ф. Геофизические аспекты активных воздействий в околоземном космическом пространстве. Дис. докт. физ.-мат. наук. – СПб: ГНЦ РФ ААНИИ, 2002. – 316 с.
2. Пашинцев В. П., Омельчук А. В., Коваль С. А., Галушко Ю. И Метод определения величины интенсивности неоднородностей по данным ионосферного зондирования // Двойные технологии. 2009. № 1. С. 38-41.
3. РД 52.26.817 – 2015. Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям. Часть I. Ионосферные наблюдения. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2015. – 199 с.
4. Перевалова, Н. П. Исследование ионосферных возмущений методом трансиниосферного GPS-зондирования: специальность 25.00.29 «Физика атмосферы и гидросферы»: диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук/ Перевалова Наталья Петровна; Ин-т солнеч.-зем. физики Сиб. отд-ния Рос. акад. наук. – Иркутск, 2014. – 286 с.

REFERENCES

1. Blagoveshchenskaya N. F. Geofizicheskie aspekty aktivnykh vozdeystvij v okolozemnom kosmicheskom prostranstve. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk. [Geophysical aspects of active influences in near-earth space. D.Sc. Tesis]. Saint-Petersburg, Russian State scientific center – Arctic and Antarctic research institute, 2002. 316 p. (in Russian).
2. Pashintsev V. P., Omelshuk A. V., Koval S. A., Galushko Yu. I. Method of Irregularity Intensity Value Determination According to Ionosphere Sounding. Dual technology, 2009, no. 1, pp. 38-41 (in Russian).
3. RD 52.26.817 – 2015. Rukovodstvo po ionosfernym, magnitnym i geliogeofizicheskim nablyudenyam. Chast' 1. Ionosfernye nablyudeniya [Guide to ionospheric, magnetic and heliogeophysical observations. Part I. Ionospheric observations]. Obninsk, Federal state budgetary institution Russian Research Institute of hydrometeorological information - World data center Publ. 2015. 199 p. (in Russian).
4. Perevalova, N. P. Investigation of ionospheric disturbances by the method of trans-atmospheric GPS-sensing: specialty 25.00.29 "Physics of the atmosphere and hydrosphere": dissertation for the degree of Doctor of Physico-Mathematical Sciences/ Perevalova Natalia Petrovna; Institute of Solar-Earth. physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. – Irkutsk, 2014. – 286 p.