

РАЗВИТИЕ МЕТОДИК ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В РАДИОДИАПАЗОНЕ

А.В. Шиндин¹, А.В. Рябов¹, С.П. Моисеев¹, Д.А. Когогин², В.Р. Хашев¹,
Д.С. Максимов², А.В. Соколов²

¹) ННГУ им. Н.И. Лобачевского

²) Казанский федеральный университет

1. Совершенствование методик вертикального зондирования в лаборатории «Васильсурск»

Эксперименты по воздействию на ионосферу мощным КВ радиоизлучением приводят к различным эффектам ионосферной турбулентности. Один из них — перераспределение электронной концентрации на временных масштабах порядка 1-2 с. В естественных условиях профиль электронной концентрации может быть получен с помощью ионозонда вертикального зондирования. В условиях нагревного эксперимента для оперативного мониторинга электронной концентрации время регистрации ионограммы должно составлять ~ 1с.

Нагревный стенд Сура располагает действующим ионозондом вертикального зондирования CADI. В автоматическом режиме ионозонд позволяет регистрировать ионограмму за ~ 40 с, а в ручном (тестовом) режиме — за 7 с. Приемная антенна ионозонда принимает только одну линейную поляризацию.

На первом этапе работ была продемонстрирована возможность качественного улучшения характеристик ионограмм при модернизации приемной части ионозонда CADI с помощью современных программно-определяемых радиосистем (SDR) и замены приемной антенны на более совершенную.

Модифицированная приемная часть включает в себя: 1) цифровой SDR приемник LimeSDR, апконвертеры Ham it Up v.1.3 (2 шт.) и 2-х канальный опорный генератор, синхронизованный с GPS (т. н. GPS disciplined oscillator) Leo BodnarPrecision GPS Reference Clock. Прием зондирующих сигналов ионозонда CADI осуществляется на диагностическую антенну (размер антенного поля 120 на 120 м), позволяющую независимо регистрировать 2 ортогональные линейные поляризации.

Данные модификации позволили получить первые на стенде Сура ионограммы (см. рис. 1-2) с разделенными следами волн O (красный цвет) и X (синий цвет) поляризаций.

На втором этапе работ (текущий момент) разрабатывается макет задающего генератора передающей части ионозонда CADI на основе платы STEMlab 122.88-16, позволяющий уменьшить время регистрации ионограммы до 0,9 с.

На третьем этапе работ планируется использовать плату STEMlab 122.88-16 также в качестве основы приемной части ионозонда, что обеспечит высокую скорость обработки, мобильность и полную автоматизацию получения ионограмм.

2. Создание бюджетного двухчастотного GNSS приемника для мониторинга крупномасштабных ионосферных возмущений.

Мониторинг крупных ионосферных возмущений с использованием систем глобальной навигации (GNSS) осуществляется путем измерений вариаций полного

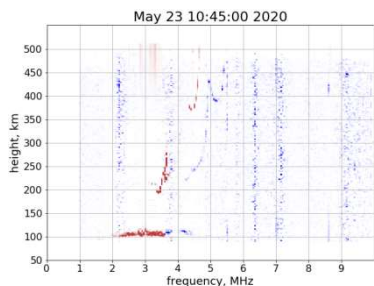


Рис. 1

электронного содержания (ПЭС) с помощью двухчастотных GNSS-приемников. Практика проведения нагревных экспериментов показала, что для получения достоверной пространственно-временной картины ионосферных неоднородностей требуется 5-10 таких приемников локализованных в районе расположения источника возмущений (нагревного стенда). К сожалению, в радиусе 100 км от стенда Сура таких приемников практически нет, а профессиональные двухчастотные приемники излишне дороги.

В рамках проекта разработан макет регистратора ПЭС на основе приемника u-blox ZED-F9P. Себестоимость макета более чем на порядок меньше стоимости профессионального GNSS приемника. При этом прибор позволяет не только записывать данные в файл, но и отправлять их на сервер для визуализации и мониторинга вариаций ПЭС в реальном времени. На панелях рисунка 3 приведены вариации ПЭС, зарегистрированные с помощью различных приборов: разработанный макет (слева), профессиональный приемник (в центре) и приемник мобильного телефона (справа).

u-blox ZED-F9P

Trimble Alloy
KZN2 IGS

Xiaomi Mi 8

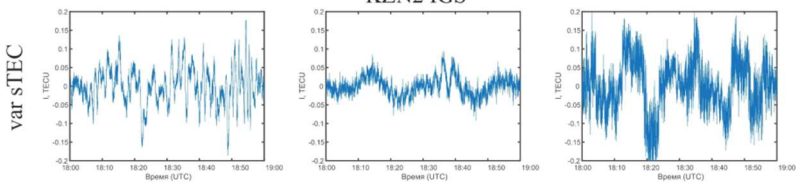


Рис. 3

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 20-32-70198 и гранта Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (идентификатор проекта RFMEFI62020X0003, номер соглашения 075-15-2020-529).