

УДК: 621.371.332.1

DOI: 10.26907/rwp29.2025.72-75

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПАКТНОЙ АНТЕННЫ ЗЕНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО И НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

А.А. Аверин¹, В.Ю. Ким¹, В.П. Полиматиди¹, В.И. Сахтеров^{1,2}

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн

им. Н.В. Пушкова РАН 108840 г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе д.4

E-mail: averin@izmiran.ru

²Институт прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова, 129128 Москва,

ул. Ростокинская, 9

E-mail: sakhterov@ipg.geospace.ru

Аннотация. Ионосферная сеть Росгидромета, оснащенная отечественными ионозондами «Парус-А» производит измерения состояния ионосферы в 15-минутном режиме, при этом в последнее время появилась тенденция измерения в 5-минутном режиме. Также в связи с сокращением времени зондирования до 1-6 секунд появляется возможность получения дополнительных измерений в режимах наклонного зондирования. Проведены экспериментальные исследования антенных систем, используемых в ионозондах серии «Парус-А» и излучающей антенны ЛЧМ-ионозонда используемой в ИЗМИРАН для совместных экспериментов с Нижним Новгородом и Ростовом-на-дону. Показана возможность использования стандартных антенно-фидерных устройств ионозондов «Парус-А» после модернизации для проведения наклонного зондирования ионосферы.

Ключевые слова: ионосфера; ионозонд «Парус-А»; антенны; большой и малый ромб; антенна дельта; вертикальное зондирование; наклонное зондирование

THE USE OF A COMPACT ZENITH RADIATION ANTENNA FOR VERTICAL AND INCLINED SOUNDING OF THE IONOSPHERE

A.A. Averin, V.Yu. Kim, V.P. Polimatidi, V.I. Sahterov

Abstract. The Roshydromet ionospheric network, equipped with domestic Parus-A ionosondes, measures the state of the ionosphere in a 15-minute mode. Recently, there has been a tendency to take measurements in a 5-minute mode. Also, due to the reduction of the probing time to 1-6 seconds, it becomes possible to obtain additional measurements in inclined sensing modes. Experimental studies of antenna systems used in ionosondes of the Parus-A series and the radiating antenna of the LFM ionosonde used in Izmir for joint experiments with Nizhny Novgorod and Rostov-on-Don have been carried out. The possibility of using standard antenna-feeder devices of the Parus-A ionosondes after modernization for conducting inclined sounding of the ionosphere is shown.

Keywords: ionosonde "Parus-A"; antennas; large and small rhombus; delta antenna; vertical sounding; inclined sounding

Введение

В настоящее время ионосферная сеть Росгидромета производит измерения состояния ионосферы в 15-минутном режиме, используются импульсные ионозонды «Парус-А» с длительностью импульса 100 мкс в диапазоне частот от 1 до 20 МГц [1]. В научных работах приводятся характеристики экспериментальных ионозондов с временем зондирования менее 10 секунд, есть установки с временем зондирования около 1 секунды [2,3]. Учитывая, что при этом происходит снижение уровня излучаемой мощности: 40 кВт ионосферной станции «Базис», 15 кВт станция «Парус-А», то можно предположить о уменьшении помеховой обстановки от ионозондов в декаметровом диапазоне. Также обычно ионозонд «Парус-А» для увеличения срока службы работает при минимальной мощности 3 кВт, что сопоставимо с выходной мощностью ионозонда «Томион» использующий транзисторный передатчик с выходной мощностью 4 кВт [4]. Все вышеприведенные данные способствует кардинальному сокращению времени измерения с 30-40 до 1-6 секунд. Появились несколько станций производящие ионосферные наблюдения в 5 минутном режиме. Учитывая проведения экспериментальных работ по наклонного зондирования (НЗ) между однотипными станциями

сети Росгидромет и при использовании транзисторных передатчиков встает вопрос о проведении постоянных наблюдений НЗ внутри сети [5].

Применяемые антенно-фидерные устройства зенитного излучения ионосферных станций в основном двух типов: антенна типа «Дельта» и антенна типа «Ромб». При этом «Ромб» имеет два полотна, большой используется в диапазонах частот от 1 до 6 МГц, малый свыше 6 МГц. У обеих антенн согласующий трансформатор расположен снизу у центральной мачты, наверху мачты располагается нагрузочный резистор 600 Ом для согласования АФУ с передатчиков в широком диапазоне частот, коэффициент стоячей волны не превышает значения 6. Результаты моделирования приводились в ряде публикаций [6]. В результате образования в диапазоне частот очень сложных диаграмм направленности излучающей антенны возможно проведение НЗ для станций, расположенных на небольших расстояниях, или при удачном расположении АФУ. В отличие от приемных антенн, обязательно располагаемых по направлению «Север-Юг» и «Запад-Восток», излучающие антенны располагаются исходя из территориальных возможностей.

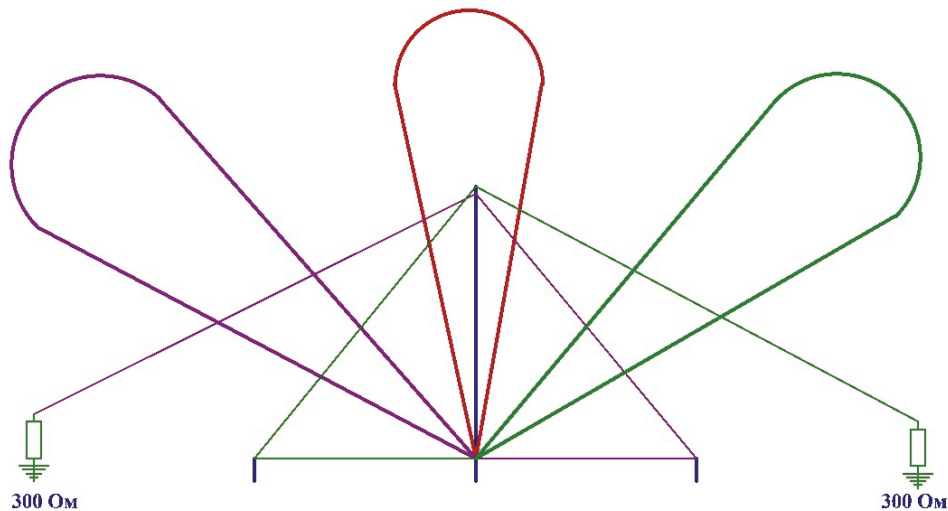


Рис. 1. Антенна типа двойная «Дельта»

Для НЗ на протяженных трассах обычно применялись V-образные антенны, но вследствие необходимости расположения двух вибраторов длиной более 50 метров и углом между вибраторами 100° требуется соответствующие территории [7]. В ИЗМИРАН для экспериментов по НЗ долгое время применяется модернизированная антенна типа «Ромб» с элементами антенны бегущей волны.

Дальнейшее развитие создания компактных антенн для ионосферных наблюдений было предложено на основе антенны типа «Дельта». Одним из недостатков данной антенны является неэффективность излучения на частотах ниже 3 МГц. При наличии достаточно мощного передатчика возможно за счет увеличения излучаемой мощности. Для решения данной проблемы было предложено сделать двойную «Дельту». Схема приведена на рис.1 и представляет собой два вибратора располагаемых зеркально, согласующий трансформатор расположен на центральной мачте внизу. Нагрузочный резистор 600 Ом разделяется на два резистора по 300 Ом, вибраторы через них заземляются на грунт. Для наглядности приведены в разных цветах, соответствующие им диаграммы также приведены в этих цветах, красным цветом приведена диаграмма при использовании обоих вибраторов. Данная антенна была изготовлена в ИЗМИРАН на основе пустующей мачты высотой 12 м. Боковые стойки высотой 2 метра располагались на расстояниях 15 и 30 метров от центральной мачты. Согласующий трансформатор 1:12 располагался внизу центральной мачты. При экспериментах использовался ионозонд «Парус» с испытательного стенда ИЗМИРАН, прием осуществлялся на штатные антенны стенда, скрещенная антенна типа «Дельта». Передающая антенна стенда антенна типа «Дельта», высота 20 м, расстояние между боковыми стойками 56 м. Для излучения

использовался транзисторный усилитель мощности с выходной мощностью 1,2 кВт «СОМ» от экспериментального ионозонда со стенда «Электроугли».

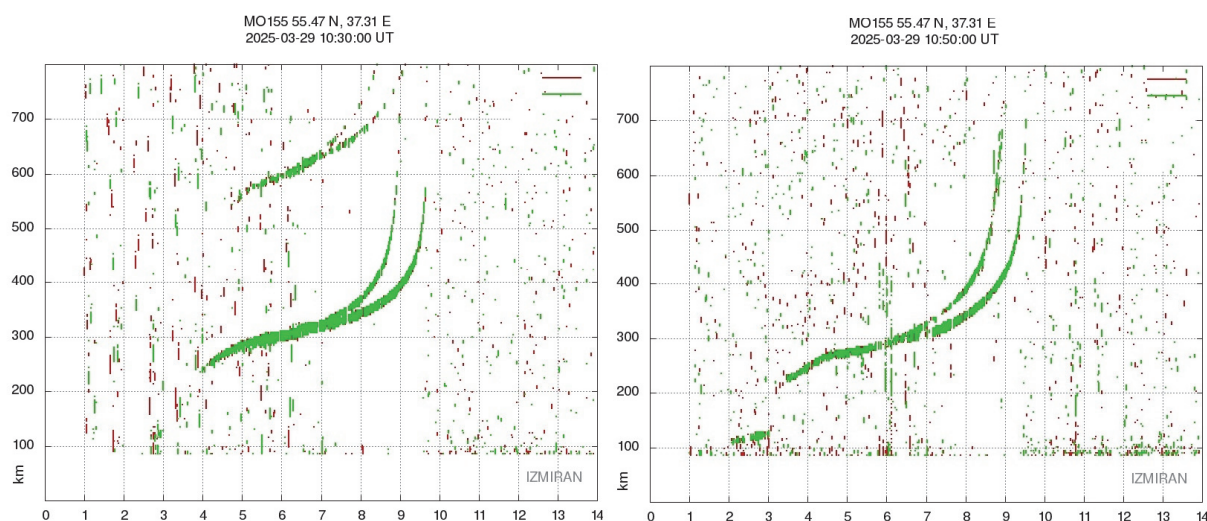


Рис. 2. Ионограмма ВЗ, слева излучение на антенну типа «Дельта» (56м), справа двойная Дельта (60 м)

При использовании одного вибратора данная антенна может быть использована для наклонного зондирования, ранее так использовалась антенна типа «Ромб» [8]. При использовании соответствующей схемы коммутации отдельные вибраторы антенны возможно использовать для наклонного зондирования. При использовании обоих вибраторов она применяется для ВЗ, позволяя осуществлять прием с более низких частот.

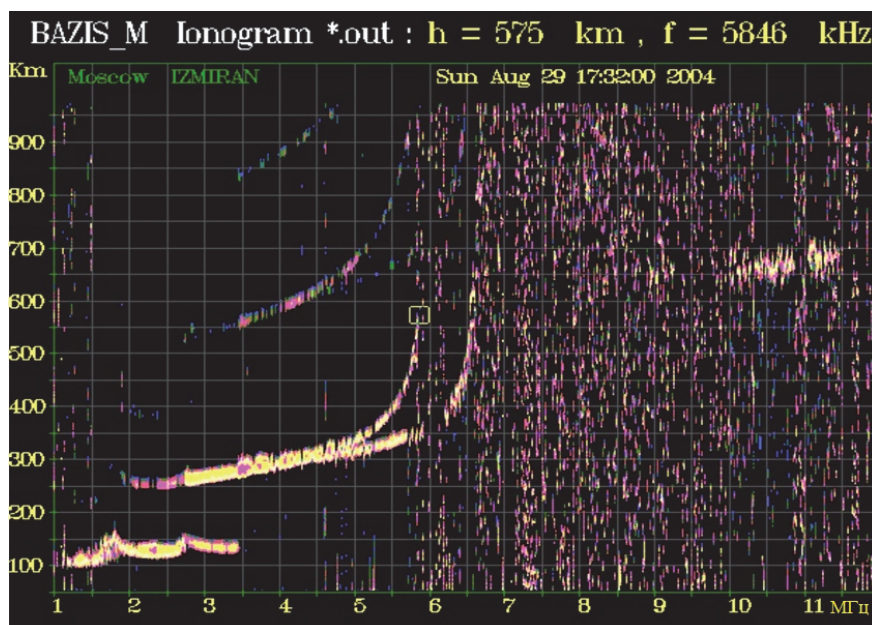


Рис. 3. Ионограмма ВЗ на антенну для НЗ, в районе 10-11 МГц наблюдается ракурсное рассеяние от стенда «Сура»

На рис.2 приведен ионограммы полученные от антенн типа «Дельта» и двойная «Дельта». На ионограммах с использованием штатной антенны стенда минимальная частота наблюдения ионограммы составляет 4 МГц, при использовании усовершенствованной минимальная частота наблюдения снижается до 2 МГц. Полученные результаты позволяют предполагать, что использовании штатной мачты антенны типа «Дельта» высотой 20 метров характеристики

предлагаемой антенны позволять производить наблюдение с 1 МГц. На рис.3 приведена ионограмма ионозонда «Базис», показана возможность использования модернизированной антенны «Ромб» для наклонного зондирования, при использовании ее для ВЗ минимальная частота наблюдений 1 МГц, при этом наблюдается ракурсное рассеяние локальный возмущений ионосферы над станцией «Сура»

Заключение

Проведенные эксперименты показали возможность разработки компактной совмещенной антенны для проведения вертикальных зондирований с более низких частот. Предполагается возможность проведения ВЗ и НЗ между двумя станциями используя одну универсальной антенной.

Список литературы

1. Гивишвили Г.В., Крашенинников И.В., Лещенко Л.Н., Власов Ю.М., Кузьмин А.В. Ионозонд «Парус-А»: функциональные возможности и перспективы развития // Гелиогеофизические исследования. – 2013. – № 4. – С. 68–74.
2. Браницкий А.В., Ким В.Ю., Полиматиди В.П. Быстрые вариации профилей электронной концентрации в ионосфере, обнаруженные с помощью быстродействующего ионозонда ИЗМИРАН // Геомагнетизм и аэрономия. – 2020. – Т. 60. – № 1. – С. 1–17.
3. Ким В.Ю., Полиматиди В.П. «Способ получения ионограмм». Патент RU2552530C2 Зарегистрирован 01.08.2013 г.
4. Колесник С.А., Романов И.В., Пикалов М.В., Тужилкин Д.А. Исследовательский ионозонд «ТОМИОН» // «Радиолокационные системы малой и сверхмалой дальности»: тезисы XV научно-технической конференции: научное электронное издание / под ред. В.И. Сахтерова. – М.: ИЗМИРАН, 2024. – С. 60–63.
5. Литвинов С.В., Паньшин Е.А., Скрипачев В.О., Стариковский А.И. Влияние взаимного расположения антенн ионозондов «Парус-А» на результаты наклонного зондирования // Антенны. – 2024. – № 4. – С. 27–35.
6. Корляков Д.С., Литвинов С.В. Антенная система ионозонда для совмещенного зондирования ионосферы // Антенны. – 2023. – № 1. – С. 50–62.
7. Сахтеров В.И., Писарев Р.В., Лобзин В.В., Копейкин В.В., Резников А.Е., Железняков В.И., Щец Д.П. Коротковолновая широкополосная радиостанция «АНГАРА—5М» // Радиотехника и электроника. – 2002. – Т. 47. – № 9. – С. 1149–1152.
8. Крашенинников И.В., Черкашин Ю.Н. Захват зондирующих радиоволн в искусственный крупномасштабный ионосферный резонатор // Геомагнетизм и аэрономия. – 2016. – Т. 56. – № 2. – С. 228–233.