

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕННЫХ СВОЙСТВ КВ-АНТЕНН ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ, ПОЛУЧЕННЫМ С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ БПЛА

В.Ю. Ермаков, В.П. Лебедев

Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия, ermakov@iszf.irk.ru

STUDY OF E DIRECTIONAL PROPERTIES OF HF ANTENNAS BASED ON NEAR-FIELD MEASUREMENTS OBTAINED USING A UAV

V.Yu. Ermakov, V.P. Lebedev

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia, ermakov@iszf.irk.ru

Аннотация. Для определения коэффициента поглощения электромагнитных волн, построения частотного профиля, определения электронной концентрации и др. и в целом для изучения атмосферы Земли используют радиотехнические устройства. Основным элементом таких устройств — антенная система, основные характеристики которой: диаграмма направленности основных поляризаций, коэффициент усиления и т.д., которые необходимо знать как можно точнее. Из-за различных факторов требуется проводить натурные измерения параметров антенных систем. В работе представлены результаты измерения направленных свойств антенн, развернутых в наблюдательном пункте Торы, при помощи беспилотного летательного аппарата DJI Matrice 100. Проведен сравнительный анализ измеренных и расчетных направленных свойств антенн в ближней зоне для основных поляризаций. Для расчета направленных свойств антенн в ближней зоне разработан соответствующий программный комплекс.

Ключевые слова: антенные системы, КВ антенны, ближняя и дальняя зоны антенны, измерение и моделирование диаграммы направленности, поляризация, беспилотный летательный аппарат.

Abstract. To determine the absorption coefficient of electromagnetic waves, construct a frequency profile, determine the electron concentration, etc., and to study the Earth's atmosphere in general, radio engineering devices are used. The main element of such devices is an antenna system, the main characteristics (directional patterns of the main polarizations, gain, etc.) of which must be known as accurately as possible. Due to various factors, it is necessary to carry out in-kind measurements of the parameters of antenna systems. The paper presents the results of measuring the directional properties of antennas deployed at the Tory observation point using the DJI Matrice 100 unmanned aerial vehicle. A comparative analysis of the measured and calculated directional properties of antennas in the near zone for the main polarizations is carried out. A corresponding software package has been developed to calculate the directional properties of antennas in the near zone.

Keywords: antenna systems, HF antennas, near and far antenna zones, radiation pattern measurement and modeling, polarization, unmanned aerial vehicle

ВВЕДЕНИЕ

Важными характеристиками антенных систем входящих в состав измерительных радиотехнических устройств является диаграмма направленности (ДН), поляризация, фазовый центр (ФЦ) антенны. ДН напрямую зависит от конфигурации антенной системы. Более того, ДН может меняться из-за стоящих рядом объектов, подстилающей поверхности, электрических параметров среды распространения и др. По этим причинам калибровка антенных систем всегда актуальна.

Калибровку антенных систем осуществляли путём облёта на вертолёте или аэростате. Последним на смену пришли беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Главными преимуществами БПЛА являются относительная дешевизна, быстрота облёта, относительно небольшие затраты на обслуживание. Недостатками являются относительно небольшая грузоподъёмность, сильно ограниченное время облёта, зависимость от погодных условий. Полёты осуществляются по заранее заданной траектории, с учётом поляризации антенн в канале связи, для этого в плане полёта задают тангаж, крен и рысканье БПЛА. На БПЛА, как правило, устанавливают дипольную антенну, так как проста в изготовлении, установке, настройке, имеет известные направленные свойства. Положение БПЛА надёжно фиксируется с помощью ГНСС, что крайне важно для калибровочных

измерений. Результаты калибровочных измерений необходимо сопоставлять с расчетной моделью антенной системы. В совокупности эти два подхода позволяют с одной стороны, проверить правильность модели, а с другой удостовериться, что измерение ДН антенны было выполнено корректно в соответствии с полетным заданием [Giuseppe et al., 2014; Bolli et al., 2016; de Lera Acedo et al., 2018].

Поставленные задачи: построить зависимость амплитуды несущего сигнала от угла места, сравнить результаты измерения антенн с результатами моделирования поля в ближней зоне. На основании сравнительного анализа сделать выводы.

КОНСТРУКЦИЯ ИЗМЕРЯЕМОЙ АНТЕННЫ И ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Проводилась калибровка КВ антенн типа «Дельта», развернутых в наблюдательном пункте Торы, расположенном на территории республика Бурятия в 152 км от Иркутска. Измерения КВ антенн выполнялись методом облёта с привлечением БПЛА DJI Matrice 100, с закрепленным на корпусе БПЛА передатчиком и антенной (электрический диполь). Измерения проводились на частотах 2, 3, 4, 5.5, 7 МГц для основной поляризации электромагнитного поля, и в двух плоскостях параллельно и перпендикулярно плоскости антенн [Лебедев и др., 2022].

Конструкция и размеры приёмной и передающей антенн «Дельта» представлены на рис. 1а и 1б, соответственно. В центре основания через согласующий трансформатор происходит запитка антенны, а на вершине над основанием подключена резистивная нагрузка номиналом 900 Ом.

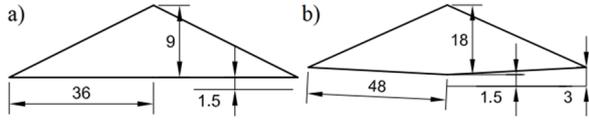


Рис. 1. Конструкция измеряемых антенн: а) Приёмная антенна типа «Дельта»; б) Передающая антенна типа «Дельта»

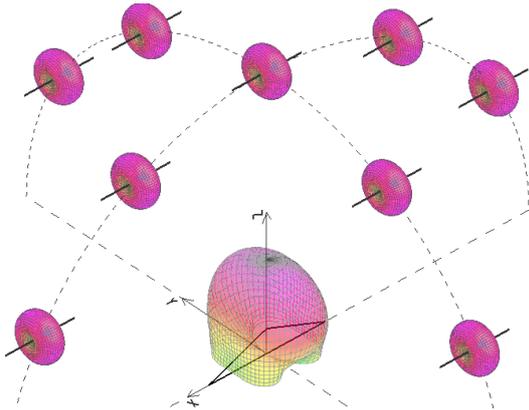


Рис. 2. Схема облёта исследуемых антенн типа «Дельта»

Траектория облёта представляет собой полуокружность с радиусом 250 м (рис. 2). Пунктирной линией нанесены траектории, в плоскости XZ в плоскости антенны, в плоскости YZ перпендикулярно плоскости антенны. На траекториях нанесены, чёрной жирной прямой — передающая антенна квадрокоптера, и её тороидальная ДН.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ АНТЕНН

На рис. 3–4 и 5–6 продемонстрированы ближнее поле антенны (чёрным цветом), полученное при параллельном/перпендикулярном облётах в поляризации, на частотах 4, 5.5 и 7 МГц. Результаты моделирования ближнего поля антенны (синим цветом), полученные нашей программой моделирования антенн. Результаты моделирования ДН (зелёным цветом), получены в специализированной программе моделирования антенн MMANA-GAL. Отметим, что MMANA-GAL не позволяет посчитать поле в ближней зоне, в нашем сравнении позволяет увидеть ДН антенн.

На рис. 3 и 4 видим, что моделирование описывает форму реального измерения. Расхождения по амплитуде связаны с тем, что в программах моделирования учитывалась лишь идеальная подстилающая поверхность и не учитывались стоящие рядом с антенной конструкции.

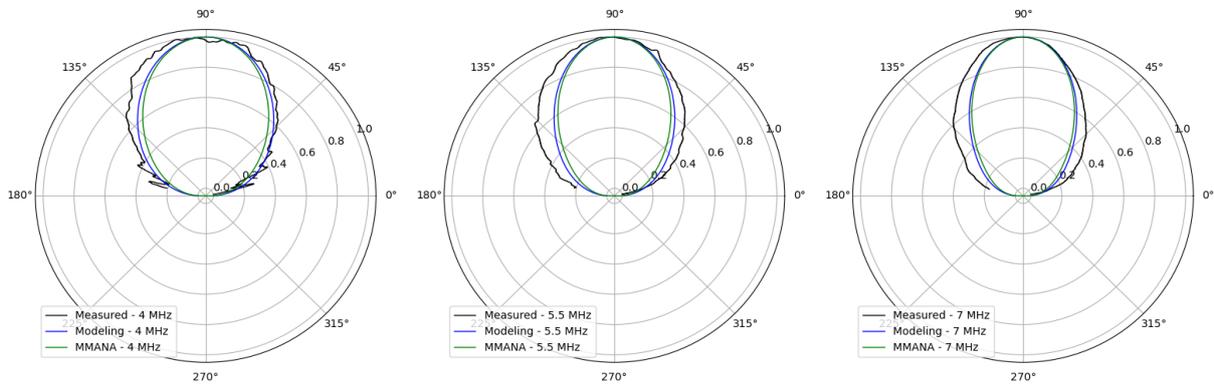


Рис. 3. Пролёт параллельно плоскости приёмной антенны «Дельта»

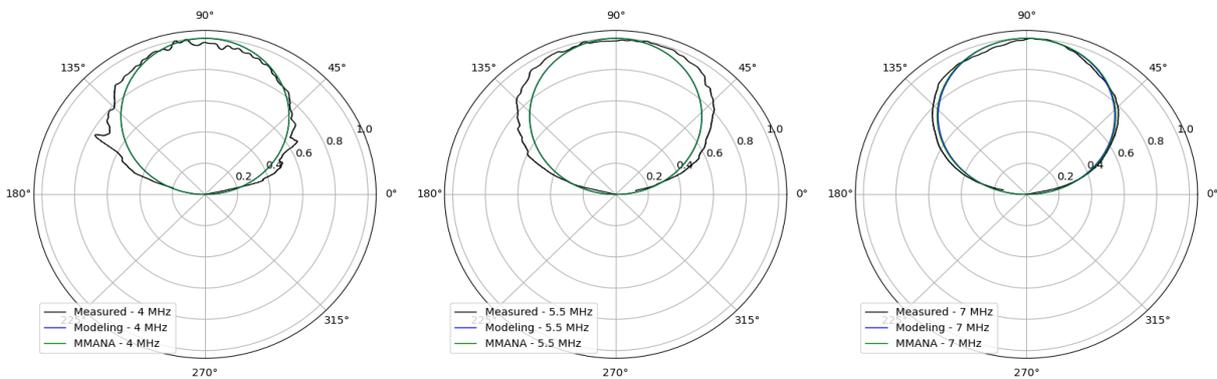


Рис. 4. Пролёт перпендикулярно плоскости приёмной антенны «Дельта»

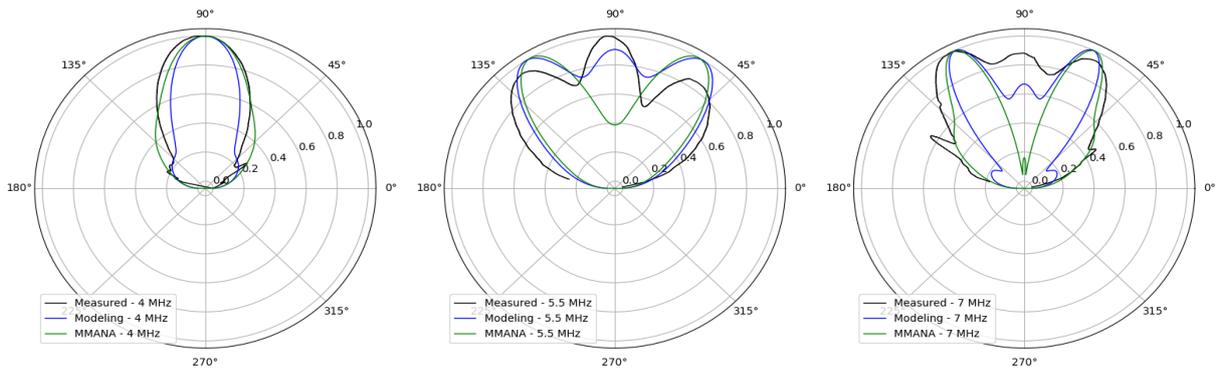


Рис. 5. Облёт параллельно плоскости передающей антенны «Дельта»

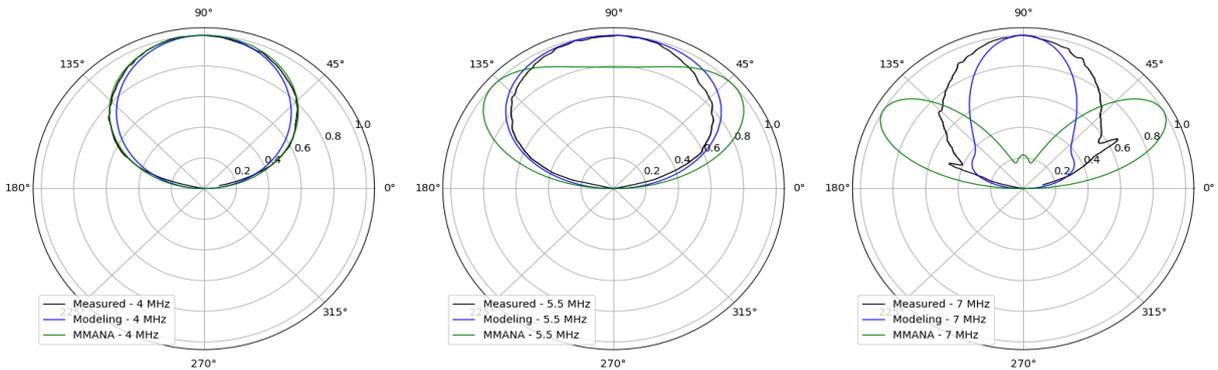


Рис. 6. Облёт перпендикулярно плоскости передающей антенны «Дельта»

В плоскости передающей антенны «Дельта» (рис. 5) с увеличением частоты направленные свойства антенны ухудшаются. На частоте 4 МГц в измерениях и модели, появляются боковые лепестки на низких углах места. На частоте 5.5 МГц, величина боковых лепестков значительно увеличивается. MMANA показывает, что усиление вверх значительно уменьшится. На 7 МГц амплитуда боковых лепестков становится больше, чем центральный лепесток, на низких углах места появляются дополнительные боковые лепестки. MMANA показывает, что усиление вверх будет минимальным.

В перпендикулярной плоскости (рис. 6) на частоте 4 МГц, моделирование хорошо описывает кривую реальных измерений. На частоте 5.5 МГц MMANA показывает, что максимальное усиление ДН направлено в стороны. На частоте 7.7 МГц на низких углах места появляются боковые лепестки, а ДН состоит из 2 лепестков с максимальным усилением и минимальным усилением вверх.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании сравнительного анализа можем заключить, что наша программа моделирования позволяет получить поле в ближней зоне с расхождениями по амплитуде, но близкое по форме

кривой реальных измерений. Для минимизации расхождений и определения реальной ДН антенн необходимо учитывать параметры подстилающей поверхности, стоящие рядом с антенной конструкцией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Лебедев В.П., Подлесный А.В., Цедрик М.В., Куркин В.И. Измерение диаграммы направленности КВ антенн методом облета с привлечением беспилотного летательного аппарата DJI Matrice 100 // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром, 2022. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-538-545.

Virone G., Lingua A.M., Piras M. et al. Antenna Pattern Verification System Based on a Micro Unmanned Aerial Vehicle (UAV) // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2014. V. 13. P. 169–172.

Bolli P., Paonessab F., Pupillo G. et al. Antenna pattern characterization of the low-frequency receptor of LOFAR by means of an UAV-mounted artificial test source // Proc. SPIE. 2016. V. 9906 99063V-11. DOI:10.1117/12.2232419.

E. de Lera Acedo, P. Bolli, F. Paonessa, G. Virone, E. Colin-Beltran, N. Razavi-Ghods, I. Aicardi, A. Lingua, P. Maschio, J. Monari, G. Naldi, M. Piras, G. Pupillo. SKA aperture array verification system: electromagnetic modeling and beam pattern measurements using a micro UAV // DOI 10.1007/s10686-017-9566-x, Exp Astron. 2018. P. 45:1–20.