

# ПОРТАТИВНЫЙ МОДУЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ S-ДИАПАЗОНА

**Н. И. Медведев**

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,  
220030, г. Минск, Беларусь, mikita.medvedev@gmail.com

Научный руководитель — А.А. Спиридонов, кандидат физико-математических наук,  
доцент, В.С. Баранова

В работе представлен модуль оценки коэффициента направленного действия на основе измерения диаграммы направленности. Показаны результаты измерения диаграммы направленности семи-элементной антенны Яги-Уда на частоте 2.4 ГГц.

**Ключевые слова:** коэффициент направленного действия; диаграмма направленности; дальняя зона.

Диаграмма направленности (ДН) является одним из важнейших параметров при эксплуатации антенных систем. Она представляет собой трехмерное распределение электромагнитной энергии, излучаемой или принимаемой антенной. Исследование ДН имеет решающее значение для проектирования и оптимизации антенн в различных приложениях, включая телекоммуникации, радиолокационные системы, спутниковую связь и беспроводные сети.

Разработанный модуль измерения диаграммы направленности антенны, позволяющий провести оценку коэффициента направленного действия (КНД), представлен двумя разнесёнными элементами, принципиальная электрическая схема одного из элементов (зонда) показана на Рис. 1.

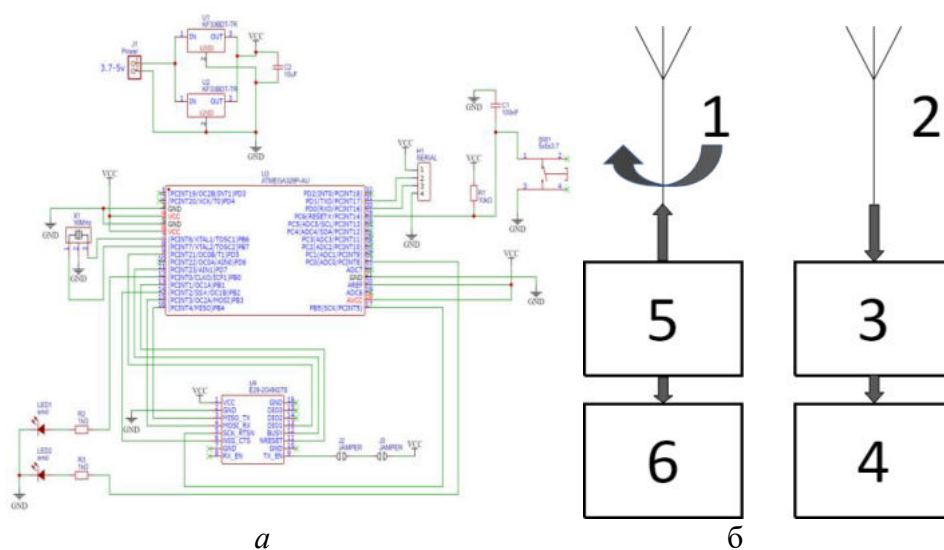


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема зонда (а); схема эксперимента (б)

Схема измерений с использованием разработанного модуля представлена на Рис. 1 (б), на котором цифрами обозначены: 1 – передающая антенна, 2 – приёмная антенна, 3 – принимающий зонд, 4 – устройство приёма данных в реальном времени, 5 – передающий зонд, 6 – поворотное устройство. Проведение измерений было осуществлено с помощью приёмопередатчиков E28-2G4M27S с протоколом LoRa с шириной полосы 400 кГц на рабочей частоте антенны 2.4 ГГц. Замеры осуществлялись следующей схеме. Передающая антенна устанавливается на штатив на высоте 1.5 метра от земли с возможностью поворота в плоскости горизонта автоматически, также выставлено значение изменения угла в 1.8 градус при дальности зонда более 70 метров. Поворот положения антенны производился в ручную при изменении плоскости. Нуль градусов выставляется на приёмную антенну. На Рис.2 изображён один из приёмопередающих зондов и прикреплённая к нему измеряемая антенна.



Рис. 2. Изображение приёмопередающего зонда

На Рис. 3, 4 представлены результаты моделирования и измерений нормированной ДН антенны в двух основных плоскостях для оценки ширины главного лепестка. Симуляция, обозначенная зелёным цветом, была произведена в Ansys HFSS согласно техническим характеристикам антенны. Серой линией обозначен уровень в 3 дБ, по которому считается ширина главных лепестков.

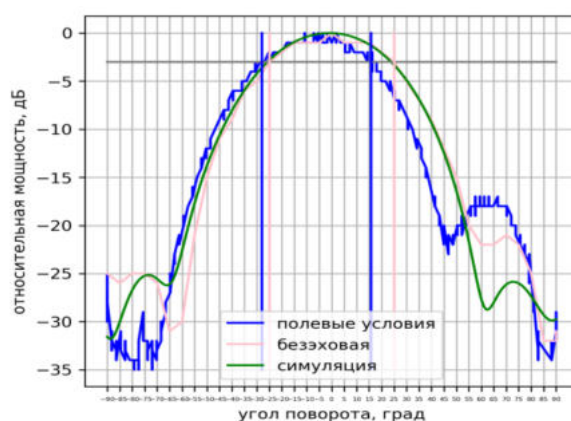


Рис. 3. Диаграмма направленности в Е-плоскости

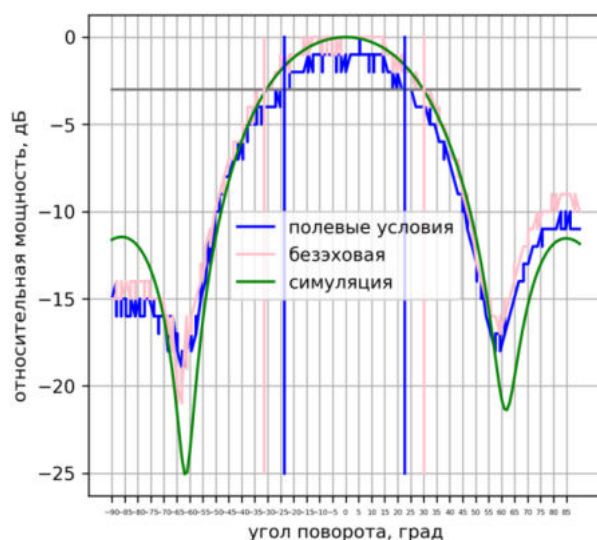


Рис. 4. Диаграмма направленности в Н-плоскости

Ширины главного лепестка по уровню половинной мощности, является важным параметром антенны, который может использоваться для измерения КНД антенны. Второй способ нахождения КНД использует вычисления по объёмной ДН. На Рис. 5, 6 представлены объёмные ДН, полученные в результате моделирования и измерений, интерполированные из двух ДН в плоскостях Е и Н по всем углам.

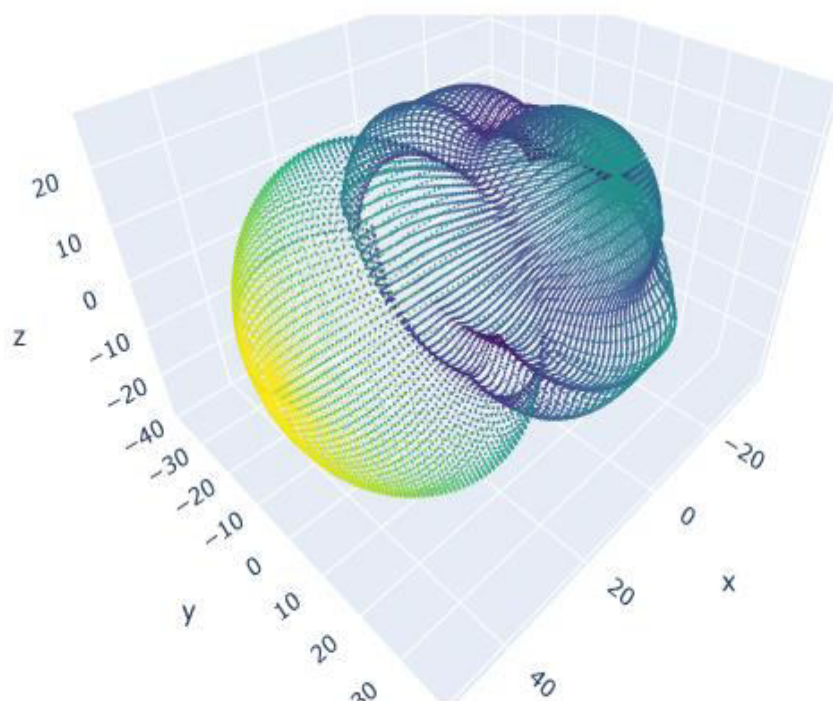


Рис. 5. Объёмная диаграмма направленности, полученная в результате моделирования антенны

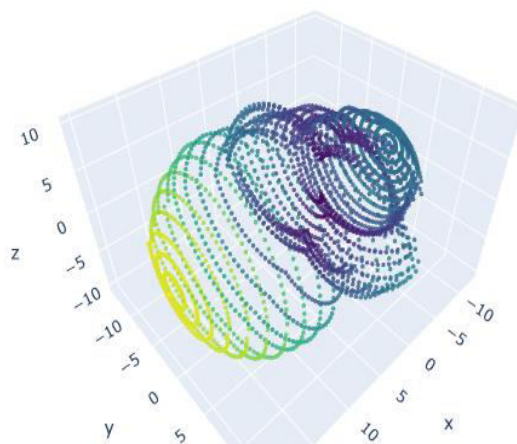


Рис. 6. Объемная диаграмма направленности, полученная в результате измерений в безэховой камере

В результате работы разработан портативный модуль измерения диаграммы направленности антенны в дальней зоне до 2 км. Полная ДН может измеряться и на меньшем расстоянии. Было проведено сравнение ДН семисегментной Яги-Уда, полученные в результате моделирования и измерений в разных условиях (безэховая камера и полевые условия). Оценка ширины главного лепестка по уровню половинной мощности, является важным параметром антенны, который также может использоваться для оценки коэффициента направленного действия. Ширина главного лепестка в Е-плоскости составляет 50 градусов для безэховой камеры и 51 градус для симуляции, ошибка составила менее 2% (Рис. 3). Ширина главного лепестка в Н-плоскости составляет 61 градус для безэховой камеры, 60 градусов для симуляции (Рис. 4). Тогда по приближенным формулам КНД, полученный в результате измерений составляет 10 дБ по главному лепестку, что хорошо согласуется со значением КНД, полученным в результате симуляции равным 9.3 дБ. Интерполированная ДН из двух плоскостей также использовалась для вычисления КНД (Рис. 5). Данным способом получено значение в 8 дБ.

### Библиографические ссылки

1. Беньковский З., Ливинский Э. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн. М.: Радио и связь, 1983.
2. Гавриленко В.Г., Калинин А.В. Методы измерения характеристик антенн по сигналам внеземных радиоисточников: электронное учебно-методическое пособие// Нижегородский госуниверситет, 2012.
3. Stutzman W.L. Estimating directivity and gain of antennas // IEEE Antennas and Propagation Magazine. 1998. Vol. 40, iss 4. P. 7-11.