

2. Лифшиц И. М.; Гредескул С. А., Пастур Л. А. Введение в теорию неупорядоченных систем — М: Наука, 1982.
3. Лифшиц И. М., Кирпичников В. Я. — ЖЭТФ, 1979, 77, № 9, с. 989.
4. Барабаненков Ю. Н. — Изв. вузов — Радиофизика, 1973, 16, № 1, с. 88.
5. Апресян Л. А., Кравцов Ю. А. Теория переноса излучения — М.: Наука, 1983.
6. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами — М.: Мир, 1986.
7. Бекеф и Дж. Радиационные процессы в плазме — М.: Мир, 1971.

Поступила в редакцию
24 сентября 1986 г.

УДК 621 396.67

О МЕТОДЕ СФЕРИЧЕСКИХ ГАРМОНИК В ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН

Д. Г. Асатрян, Э. Д. Газанян

В настоящее время получили широкое распространение методы определения параметров антенн по измерениям полей в зоне их раскрыва [1]. В [2] рассмотрены вопросы реализации метода сферических гармоник [3]. Предложен, в частности, алгоритм определения КНД антенны, минуя процесс восстановления ее поля излучения с помощью определяемых из измерений коэффициентов разложения α_N . В настоящей работе проверяется эффективность алгоритма (4) работы [2] при определении КНД, его устойчивость к различного рода ограничениям, неизбежным при реальных измерениях, в частности, к ограничению числа сферических гармоник и области измерений: рассматриваются и анализируются результаты вычислительных экспериментов для антенн с заранее известной величиной КНД, а также результаты измерений характеристик реальной антенны.

1. Короткий симметричный вибратор. При малых размерах поле бесконечно тонкого вибратора может быть выбрано в виде одного из мультиполей, входящих в разложение (2) работы [2]. В качестве такого возьмем нечетный мультиполь с $n=m-1$ ($m < n$) H -типа волн. Поле этого мультиполя записывается в виде

$$E_{\theta} = \alpha_{11 H 0} \cos \varphi e^{ikr}/r, \quad E_{\varphi} = \alpha_{11 H 0} \cos \theta \sin \varphi e^{ikr}/r \quad (1)$$

КНД такого вибратора равен 1,5. Вычислительный эксперимент проводился для $m \leq n \leq 45$. При этом коэффициенты разложения вычислялись по методике [2], по дискретным значениям (1) с интервалом дискретизации $\Delta\varphi = 10^\circ$, $\Delta\theta = 5$ и 2 градуса. Они оказались равными.

$$\text{при } \Delta\theta = 5^\circ \quad |\hat{\alpha}_{11 H 0}| = 1,00, \quad \max |\hat{\alpha}_{N'}| \leq 1,2 \cdot 10^{-4},$$

$$\text{при } \Delta\theta = 2^\circ \quad |\hat{\alpha}_{11 H 0}| = 1,00, \quad \max |\hat{\alpha}_{N'}| \leq 1,5 \cdot 10^{-6},$$

где $|\hat{\alpha}_{N'}|$ — модули нормированных на максимум значений коэффициентов $\alpha_{N'}$ ($N' \neq 1, H, 0$). КНД в первом случае оказался равным 1,504, во втором — 1,502, т. е. погрешность определения КНД по методике [2] составляет 0,1—0,2%.

2. Открытый конец волновода (рупор). В качестве модели использовался интеграл Кирхгофа, записанный формально для открытого конца волновода. Расчеты выполнялись для размеров раскрыва волновода $a=0,3$ м, $b=0,25$ м на длине волны $\lambda=0,03$ м. Непосредственное интегрирование выражений поля излучения такой антенны для различных значений $\theta_{\max} \leq 180^\circ$ дает результаты, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

θ_{\max} , град	20	30	40	80	120	180
КНД, дБ	29,66	29,52	29,43	29,35	29,32	29,29

Заметим, что для рассматриваемого случая расчетное значение КНД (см. например, [4]) равняется 29,29 дБ.

Поле в зоне раскрыва на сферической поверхности рассчитывалось методом, описанным в [2], для количества узлов интегрирования 35 по обеим осям при следующих значениях параметров: $R=0,6$ м, $\Delta\theta=2^\circ$, $\Delta\varphi=10^\circ$, $\theta_{\max}=60^\circ$. Восстановленные диаграммы направленности в главных сечениях методом сферических гармоник отклонились от истинных (т. е. рассчитанных по тем же формулам при $R \gg 2D^2/\lambda$) на 1 дБ на уровнях до —30 дБ (см. [2]). КНД, рассчитанный по методике [2], оказался равным 29,34 дБ (при $m \leq 40$, $n \leq 60$), что отличается от истинного значения на 0,05 дБ. Характер зависимости отличается от истинного значения на 0,05 дБ. Характер зависимости оценок КНД от количества гармоник иллюстрируется табл. 2 и 3.

Видно, что малые значения m влияют на результат значительно меньше, чем малые значения n при этом усечение по m приводит к завышению оценки КНД, а усечение по n — к занижению.

Таблица 2

m_{\max}	5	10	20	30	40	50
КНД, дБ при $m_{\max} = n_{\max}$	13,80	19,95	25,92	28,84	29,30	29,36
КНД, дБ при $n_{\max} = 50$	29,48	29,40	29,39	29,30	29,37	29,36

Таблица 3

n_{\max}	5	10	20	30	40	50
КНД, дБ при $m \leq 5$	13,80	19,95	25,93	28,91	29,42	29,49

3. Определение КНД пирамидального рупора. КНД антенны с синфазным распределением поля в раскрыве с размерами $a \times b = 0,25 \times 0,2$ м², рассчитанный в приближении Кирхгофа, на длине волны $\lambda = 0,033$ м равен 26,61 дБ. У исследуемого рупора высота $h = 0,62$ м, и расфазировка для E - и H -плоскостей равна соответственно 105 и 81 градусам. В этом случае [2]

$$\text{КНД} = \frac{8\pi R_E R_H}{ab} \{ [C(u) - C(v)]^2 + [S(u) - S(v)]^2 \} [C^2(w) + S^2(w)]. \quad (2)$$

где

$$u, v = \frac{\sqrt{\lambda R_H / 2}}{a} \mp \frac{a}{\sqrt{2\lambda R_H}}, \quad w = \frac{b}{\sqrt{\lambda R_E}}$$

$C(\cdot)$ и $S(\cdot)$ — интегралы Френеля. При $R_H = 0,698$ м, $R_E = 0,660$ м значение КНД = 25,00 дБ.

В работе [2] описан эксперимент по измерению поля этого рупора в зоне раскрыва на сферической поверхности ($\theta_{\max} = 60^\circ$), а также результат восстановления его поля излучения. Оценка КНД, рассчитанная по определенным из эксперимента коэффициентам разложения, оказалась равной 25,42 дБ (при $m \leq 40$, $n \leq 60$).

Во всех рассмотренных случаях наблюдается тенденция в сторону завышения оценки КНД. Оно обусловлено, на наш взгляд, следующим. Погрешности измерений (а измерения, описанные в работе [2], действительно проводились с небольшой точностью) приводят к искажению закона спада амплитуд коэффициентов α_N с увеличением n , в силу чего их число оказывается недостаточным для определения КНД с высокой точностью; при этом область сканирования (θ_{\max}) оказывается недостаточной, что приводит к завышению оценки КНД. С другой стороны, является замечательным тот факт, что даже при довольно грубых измерениях и весьма ограниченном числе привлекаемых гармоник превышение значения КНД оказывается менее 0,5 дБ, если считать, что формула (4) является точной и параметры антенны (R_N , R_E , a и b) определены совершенно точно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геруни П. М. В кн. Радиоастрономическая аппаратура, антенны и методы. — Ереван, 1982, с. 263.
2. Асатрян Д. Г., Газазян Э. Д. — Изв. вузов — Радиофизика, 1986. 29, № 1, с. 121.
3. Wood P. J. — The Marconi Review, 1977, 40, № 204, p. 42.
4. Кюн Р. Микроволновые антенны. — Л.: Судостроение, 1967. — 517 с.
5. Айзенберг Г. З., Ямпольский В. Г., Терешин О. Н. Антенны УКВ. Ч. I. — М.: Связь, 1977. — 381 с.

Всесоюзный научно-исследовательский институт радиофизических измерений

Поступила в редакцию 20 августа 1986 г