

УДК 621.37

## ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ АНТЕНН

Е.А. Олисов

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл., Россия,  
olisov@vniiftri.ru

*Аннотация.* Статья посвящена актуальной теме сегодняшнего дня — усилению антенн. Обсуждается метод выбора коэффициента усиления, под которым понимается значение коэффициента усиления в дальней зоне излучения. Выбирается для использования известная формула, которая определяет связь коэффициентов передачи между антеннами и коэффициентов усиления антенн.

*Ключевые слова:* измерительная антенна, коэффициент усиления, передача.

## ESTIMATION OF EXTRAPOLATION UNCERTAINTY OF THE GAIN OF MEASURING ANTENNAS

E.A. Olsiv

FSUE «VNIIFTRI», Mendeleevo, Moscow region, Russia,  
olisov@vniiftri.ru

*Annotation.* The article is devoted to the topical issue of today — antenna gain. A method for choosing the gain is discussed, which is understood as the value of the gain in the far-field radiation zone. A well-known formula is selected for use, which determines the connection between the gain factors between the antennas and the gains of the antennas.

*Key words:* measuring antenna, gain, transmission.

Актуальность выбранной темы обосновывается широкой применяемостью данного метода определения коэффициента усиления антенн многими национальными метрологическими институтами, что подтверждено международными сличениями [1]. При этом информация об оценке неопределённости экстраполяции коэффициента усиления антенн в дальнюю зону отсутствует в общем списке бюджета неопределённостей измерений. Отсутствие информации о точности экстраполяции влечёт к неправильному представлению об исследуемой величине и её погрешности.

Для измерительных антенн нормируется КСВН входа и значения коэффициента усиления [2]. При этом под коэффициентом усиления, как правило, понимается значение коэффициента усиления в дальней зоне излучения.

Для определения коэффициента усиления антенн используют формулу Фрииса, которая определяет связь коэффициентов передачи между антеннами и коэффициентов усиления антенн.

Для двух антенн, разнесённых на расстояние  $R$ , справедлива формула (1) [3]:

$$G_i G_j(R) = \frac{P_j(R)}{P_i(R)} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \frac{|1 - \Gamma_j \Gamma_M|^2 |1 - \Gamma_i \Gamma_\Gamma|^2}{(1 - |\Gamma_j|^2)(1 - |\Gamma_i|^2) |1 - \Gamma_M \Gamma_\Gamma|^2}, \quad (1)$$

где  $G_i$  — коэффициент усиления излучающей антенны;  $G_j$  — коэффициент усиления приёмной антенны;  $R$  — расстояние между апертурами антенн, м;  $P_j$  — мощность на выходе приемной антенны, Вт;  $P_i$  — мощность на входе излучающей антенны, Вт;  $\lambda$  — длина волны, м;  $\Gamma_j$  — коэффициент отражения приёмной антенны;  $\Gamma_M$  — коэффициент отражения измерителя мощности;  $\Gamma_i$  — коэффициент отражения излучающей антенны;  $\Gamma_\Gamma$  — коэффициент отражения генератора.

Для реализации метода экстраполяции необходимо собрать схему измерений, представленную на рис. 1, и вписать полином по степеням  $(1/R)$  в результаты расчёта по формуле (1) для значений  $G_i G_j(R)$ . Значение  $\lim_{R \rightarrow \infty} G_i G_j(R) = P_{0k}$  (при  $k = 2, 3$ ) определяется по формулам (2):

$$G_i G_j(R) = P_{02} + \frac{P_1}{R} + \frac{P_2}{R^2} + o_1 \quad \text{или} \quad G_i G_j(R) = P_{03} + \frac{P_1}{R} + \frac{P_2}{R^2} + \frac{P_3}{R^3} + o_2, \quad (2)$$

где  $o_1, o_2$  — невязка.

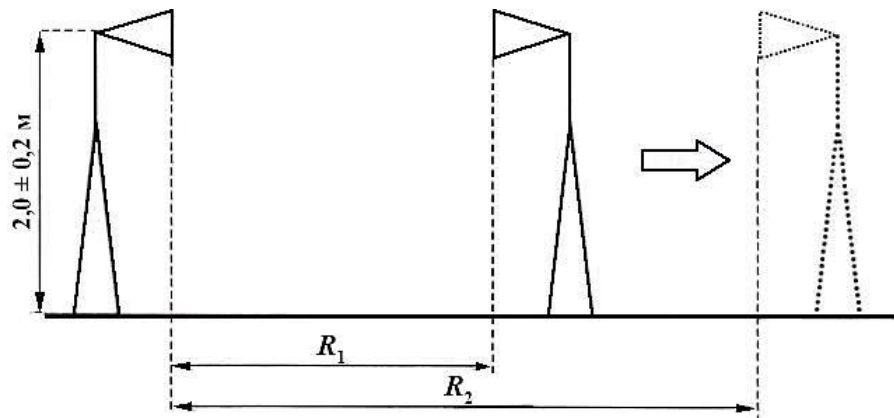


Рис. 1. Схема установки и перемещения антенн

При этом возникает расхождение аппроксимирующей функции от измеренной. Тогда коэффициент усиления антенн можно представить как среднее асимптотическое значение полиномов двух степеней:

$$G_i G_j(\infty) = \frac{P_{03} + P_{02}}{2}. \quad (3)$$

Использование полиномов второй и третьей степеней позволяет произвести оценку погрешности результата экстраполяции коэффициентов усиления антенн по формуле:

$$\delta G_i G_j(\infty) = \left| 1 - \frac{P_{03}}{P_{02}} \right| \cdot 100\%. \quad (4)$$

В качестве иллюстрации к вышесказанному служат результаты измерений среднего значения коэффициента усиления  $G_{ij} = \sqrt{G_i G_j}$  двух измерительных антенн П1-139/6 на частоте 40 ГГц и вписанных полиномов по формуле (2), представленные на рис. 2. Антенна П1-139/6 — это стандартный рупор с размерами апертуры раскрыва  $62 \times 82$  мм и расчётной дальней зоной 1,8 м, определённой по формуле (5) и принятой за минимальный интервал для аппроксимации:

$$R = \frac{2D^2}{\lambda}, \quad (5)$$

где  $D$  — максимальный размер апертуры антенны, м.

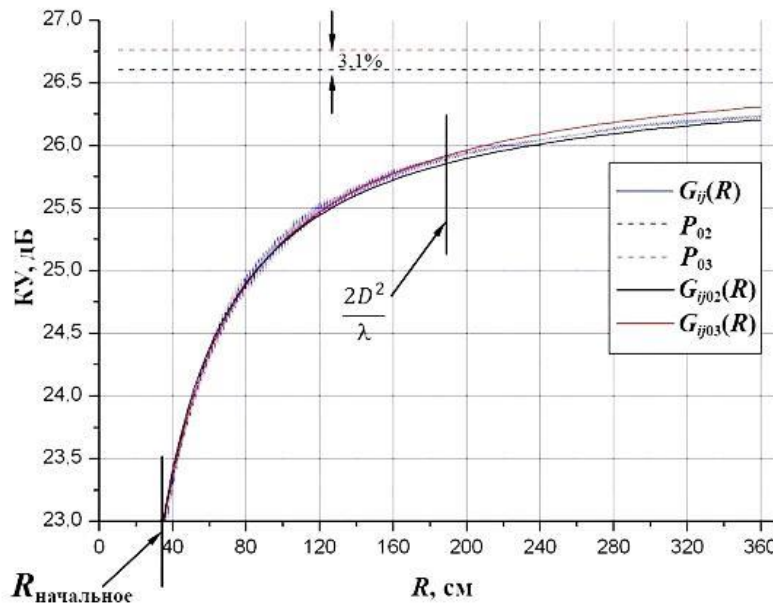


Рис. 2. Средний коэффициент усиления антенн П1-139/6

При этом, изменяя интервал аппроксимации кривой распределения коэффициента усиления, можно получить зависимость экстраполированного коэффициента усиления антенн от величины интервала аппроксимации. Полученные зависимости представлены на рис. 3, а погрешность экстраполяции коэффициента усиления, рассчитанная по формуле (4), отражена на рис. 4.

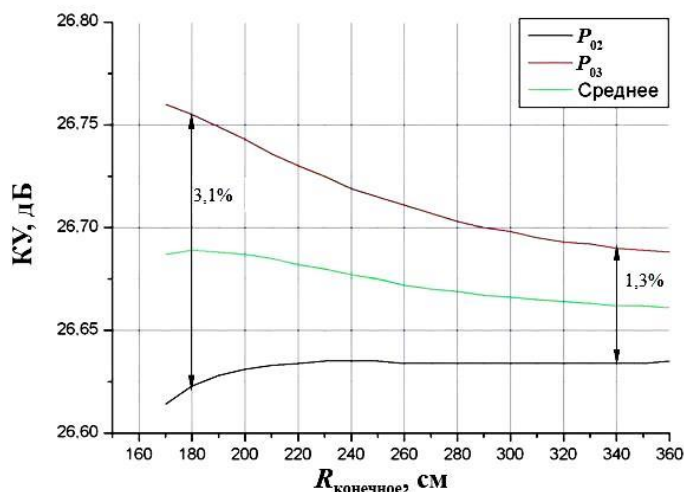


Рис. 3. Экстраполяция коэффициента усиления антенн П1-139/6

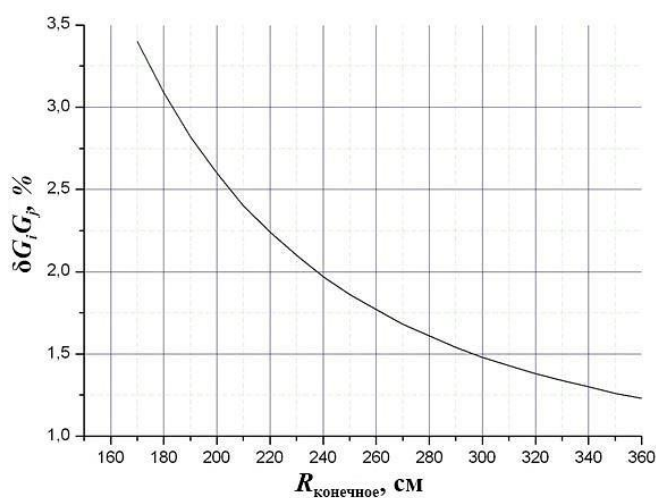


Рис. 4. Погрешность экстраполяции коэффициента усиления антенн П1-139/6

Как видно из графиков, при аппроксимации коэффициента усиления на интервале 1,8 м погрешность экстраполяции составляет 3,1 % и уменьшается по мере увеличения исследуемого интервала.

### Заключение

Таким образом, в процессе исследований были получены зависимости асимптотических значений полиномов двух степеней от величины исследуемого интервала кривой распределения коэффициентов усиления антенн. Произведена оценка погрешности экстраполяции коэффициента усиления антенн в дальней зоне на соответствующем интервале.

### Список литературы

1. Guerrieri J.R., Coder J., MacReynolds K., Tamura D. et al. CSEM Key Comparison CSEM.RF-K23.F // Metrologia. — 2016. — 53(1A). — 01003–01003.
2. Айзенберг Г.З. Антенны ультракоротких волн. — М.: Связьиздат, 1957. — 669 с.
3. Колотыгин С.А. Калибровка измерительных антенн на близких расстояниях // Альманах современной метрологии. — 2018. — № 16. — С. 107–119.

*Статья поступила в редакцию: 22.10.2021 г.*

*Статья прошла рецензирование: 27.10.2021 г.*

*Статья принята в работу: 02.11.2021 г.*