

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЩІЛЬНОСТІ ПОТОКУ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

І. Захаров, доктор технічних наук, професор,
Н. Шевченко, аспірант,
Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

И. Захаров, доктор технических наук, профессор,
Н. Шевченко, аспирант,

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков

MEASUREMENT UNCERTAINTY ESTIMATION OF ENERGY-FLUX DENSITY OF ELECTROMAGNETIC FIELD

I. Zakharov, Doctor of Technical Sciences, Professor,
N. Shevchenko, Graduate Student,

Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv

Розроблення процедур оцінювання невизначеності вимірювання є обов'язковим заходом у ході акредитації випробувальних і калібрувальних лабораторій на відповідність вимогам стандарту [1]. У цьому розумінні випробувальні лабораторії державної санітарно-епідеміологічної служби (СЕС) не є виключенням. Так, наприклад, у Росії для лабораторій СЕС на основі стандарту [1] видано методичні рекомендації [2].

Одним із видів вимірювань, які проводять співробітники випробувальних лабораторій СЕС, є вимірювання ЩПЕ електромагнітного поля з метою контролю інтенсивності випромінювань для забезпечення людини від впливу електромагнітних коливань, які створюють різні радіотехнічні об'єкти. Це завдання на сьогодні є надзвичайно актуальним, оскільки це

У статті розглянуто процедуру оцінювання невизначеності вимірювання щільності потоку енергії (ЩПЕ) електромагнітного поля, розроблена відповідно до базового алгоритму, заснованого на модельному підході. Представлено формулу перерахунку розширеної невизначеності із дБ в абсолютні одиниці. Побудовано залежність, що дозволяє визначити розширену невизначеність вимірювань як функцію стандартної невизначеності типу А й кількості спостережень.

стосується базових станцій мобільного зв'язку, кількість яких безупинно зростає.

За допомогою ЩПЕ характеризують інтенсивність електромагнітного поля у діапазоні частот 300 МГц—300 ГГц [3]. У випробувальних лабораторіях СЕС для вимірювань ЩПЕ на сьогодні використовують прилади типу ПЗ-19 [4].

У статті описано процедуру оцінювання невизначеності вимірювання ЩПЕ електромагнітного поля за допомогою приладу ПЗ-19, засновану на модельному підході [5] з урахуванням того, що вхідні величини таких вимірювань виражені у децибелах [6].

1. Складання модельного рівняння

Показання ПЗ-19 A_n з урахуванням поправочних коефіцієнтів визначаються за виразом:

$$A_n = A_n - K_f + K_a + K_{да}$$

де A_n — показання індикатора вимірювача ЩПЕ, дБ; K_a — значення коефіцієнта, обумовлене типом антени, дБ; K_f — відносний коефіцієнт перетворення, дБ; $K_{да}$ — коефіцієнт ослаблення сигналу на вході індикатора, дБ.

Вихідне модельне рівняння може бути доповнене поправками на наступні невиключені систематичні похибки (НСП): основну похибку $\delta_{осн}$; похибку індикатора δ_n ; температурну похибку δ_T .

З урахуванням цих поправок модельне рівняння остаточно буде мати вигляд:

$$A_n = A_n + \delta_{осн} + \delta_n + \delta_T - K_f + K_a + K_{да}. \quad (1)$$

Усі складові рівняння (1) мають розмірність дБ. У даній статті методика оцінювання невизначеності передбачає її розрахунок у дБ із наступним перерахуванням в абсолютні одиниці за отриманим у [6] виразом.

2. Оцінювання значень вхідних величин: середнє арифметичне показань індикатора:

$$\hat{A}_n = \bar{A}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{ni}$$

де n — число багаторазових вимірювань ЩПЕ; значення коефіцієнта перетворення $K_f = -10$ дБ (для антени АП-ППЭ-1);

значення коефіцієнта $K_a = 0$ дБ (для антени АП-ППЭ-1);

значення коефіцієнта $K_{да} = 0$ дБ;

математичне сподівання поправок на НСП:

$$\hat{\delta}_{осн} = \hat{\delta}_n = \hat{\delta}_T = 0.$$

3. Обчислення оцінки результату вимірювань:

$$\hat{A}_n = \bar{A}_n - K_f + K_a + K_{да}.$$

Абсолютне значення ЩПЕ електромагнітного поля визначається за формулою:

$$P = P_0 \cdot 10^{\frac{\hat{A}_n}{10}},$$

де $P_0 = 1$ мкВт/см².

4. Оцінювання невизначеностей вхідних величин:

а) стандартна невизначеність за типом А визначається за формулою:

$$u_A(\bar{A}_n) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (A_{ni} - \bar{A}_n)^2}; \quad (2)$$

б) стандартні невизначеності за типом В оцінюються для границь поправок $\delta_{осн}$, δ_n , δ_T і границь НСП коефіцієнта перетворення δ_f , взятих з [4]: границі основної похибки $\theta_{осн} = 1$ дБ; границі похибки індикатора $\theta_n = 0,48$ дБ; границі температурної похибки $\theta_T = 0,6$ дБ; границі похибки визначення коефіцієнта перетворення $\theta_f = 0,5$ дБ (для антени АП-ППЭ-1). У припущенні рівномірного розподілу

похибки усередині границь стандартні невизначеності за типом В будуть дорівнювати:

$$u(\delta_{осн}) = \theta_{осн} / \sqrt{3} = 0,577 \text{ дБ};$$

$$u(\delta_n) = \theta_n / \sqrt{3} = 0,277 \text{ дБ};$$

$$u(\delta_T) = \theta_T / \sqrt{3} = 0,346 \text{ дБ};$$

$$u(\delta_f) = \theta_f / \sqrt{3} = 0,289 \text{ дБ}.$$

Значення стандартних невизначеностей $u(K_a)$ і $u(K_{да})$ прийняті рівними нулю через відсутність даних у технічному описі приладу [4].

5. Визначення коефіцієнтів чутливості здійснюється за формулою:

$c_i = \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|$, у якій x_i — i -та вхідна величина модельного рівняння.

Для лінійного модельного рівняння (1) всі коефіцієнти чутливості дорівнюють одиниці:

$$c_A = c_{осн} = c_n = c_T = c_f = 1.$$

6. Обчислення внесків невизначеності: оскільки всі коефіцієнти чутливості дорівнюють одиниці, всі внески невизначеності відповідають стандартним невизначеностям вхідних величин.

7. Бюджет невизначеності, складений за отриманими даними (таблиця) [5].

8. Визначення коефіцієнтів кореляції: вхідні величини є незалежними, тому всі можливі коефіцієнти кореляції дорівнюють нулю.

9. Визначення сумарної невизначеності здійснюється за формулою:

$$u_c(A_n) = \sqrt{\sum_{i=1}^7 u_i^2(A_n)} = \sqrt{u_A^2(\bar{A}_n) + u_B^2(A_n)},$$

де $u_B(A_n)$ — сумарна стандартна невизначеність за типом В вимірювання ЩПЕ за допомогою ПЗ-19, що дорівнює 0,78 дБ (для антени АП-ППЭ-1).

10. Обчислення розширеної невизначеності здійснюється за формулою:

$$U = k \cdot u_c(A_n), \quad (3)$$

де k — фактор покриття, що обчислюється як коефіцієнт Стьюдента для ймовірності 0,95 і ефективного числа степенів свободи:

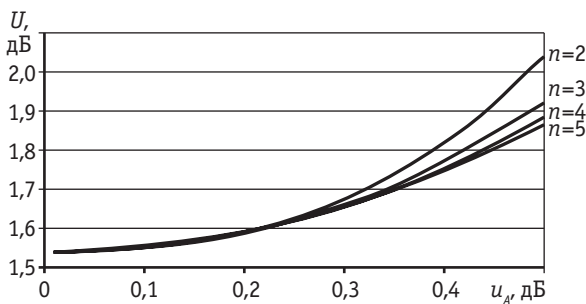
$$v_{eff} = (n-1) \left[\frac{u_c(A_n)}{u_A(\bar{A}_n)} \right]^4.$$

Вираз для розрахунку розширеної невизначеності як функції стандартної невизначеності за типом А буде мати вигляд:

$$U = k \cdot u_c(A_n) = t_{0,95} \left[(n-1) \left(1 + \frac{u_B^2(A_n)}{u_A^2(\bar{A}_n)} \right)^2 \right] \sqrt{u_A^2(\bar{A}_n) + u_B^2(A_n)}.$$

Залежність розширеної невизначеності від значення стандартної невизначеності за типом А, що

Вхідна величина	Оцінка вхідної величини, дБ	Стандартна невизначеність вхідної величини, дБ	Число степенів свободи ν_i	Закон розподілу вхідної величини	Коефіцієнт чутливості c_i	Внесок невизначеності
A_n	\bar{A}_n	$u_A(\bar{A}_{\text{сп}})$	$n - 1$	Стьюдент	1	$u_A(\bar{A}_{\text{сп}})$
$\delta_{\text{осн}}$	0	0,577	∞	Рівномірний	1	0,577
δ_n	0	0,277	∞	Рівномірний	1	0,277
δ_T	0	0,346	∞	Рівномірний	1	0,346
K_f	- 10	0,289	∞	Рівномірний	1	0,289
K_a	0	$u(K_a)$	∞	Рівномірний	1	$u(K_a)$
$K_{\text{да}}$	0	$u(K_{\text{да}})$	∞	Рівномірний	1	$u(K_{\text{да}})$
Вимірювана величина	Результат вимірювань, дБ	Сумарна стандартна невизначеність, дБ	Ефективне число степенів свободи	Рівень довіри	Фактор покриття	Розширена невизначеність, дБ
A_n	$\bar{A}_n - K_f + K_a + K_{\text{да}}$	$u_c(A_n)$	ν_{eff}	$p = 0,95$	$t_{0,95}(\nu_{\text{eff}})$	U



Залежність розширеної невизначеності (дБ) від стандартної невизначеності за типом А і кількості спостережень n

змінюється у межах від 0 до 0,5, і кількості спостережень n наведена на рисунку.

Для отримання значення розширеної невизначеності в абсолютних одиницях, можна скористатися виведеною в [4] формулою перерахунку:

$$U(\Pi) = 0,23 \cdot \hat{\Pi} \cdot U,$$

де $\hat{\Pi} = \Pi_0 \cdot 10^{\frac{\hat{A}_n}{10}}$.

Під час розрахунку $U(\Pi)$ варто враховувати, що для її достовірного оцінювання значення U (дБ) не повинне перевищувати 2 дБ.

11. Запис результату вимірювань:

$$\Pi = (\hat{\Pi} \pm U(\Pi)) \text{ мкВт/см}^2, \quad p = 0,95.$$

ВИСНОВКИ

У статті наведено процедуру оцінювання невизначеності вимірювання ЩПЕ електромагнітного

поля, яка може бути використана випробувальними лабораторіями санітарно-епідеміологічних станцій. Складено бюджет невизначеності, наведено формулу для розрахунку розширеної невизначеності. Для спрощення розрахунків представлена графічна залежність розширеної невизначеності від невизначеності за типом А та кількості спостережень. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. ISO/IEC 17025:2005. General requirement for the competence of testing and calibrating laboratories. — (Загальна вимога до компетентності випробувальних і калібрувальних лабораторій).
2. И 106-03. Система аккредитации лабораторий государственной санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации. Требования к компетентности испытательных лабораторий (на основе ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2000).
3. ГОСТ 12.1.006-84 (1999) ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. — М: Издательство стандартов, 1987. — 5 с.
4. Измерители плотности потока энергии ПЗ-18, ПЗ-19, ПЗ-20. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
5. Захаров И. П. Неопределенность измерения: Общие подходы к составлению бюджета неопределенности // УМЖ. — 2004. — №2. — С. 11—16.
6. Захаров И. П., Шевченко Н. С. Особенности оценивания неопределенности измерений при выражении входных величин в децибелах // Системы обработки информации. — 2009. — Вып. 5 (79). — С. 29—32.