

УДК 381.14:621.3

Ю.Г. Жарко¹, И.П. Захаров², Е.Н. Слипченко², Е.П. Сорока²

¹ГП «Харьковский региональный научно-производственный центр стандартизации, метрологии и сертификации», Харьков, Украина

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УРОВНЯ РАДИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОМЕХ, ВЫЗЫВАЕМЫХ СИСТЕМАМИ ЗАЖИГАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Рассмотрена методика проведения испытаний и особенности обработки результатов измерений напряженности поля излучения систем зажигания автотранспортных средств с оцениванием неопределенности измерений. Проведено моделирование методом Монте-Карло. Получена гистограмма закона распределения результатов измерений. Методом максимальной энтропии выполнена ее аппроксимация экспоненциальной функцией. Даны рекомендации по выбору эффективной оценки стандартной и расширенной неопределенности.

Ключевые слова: автотранспортное средство, система зажигания, радиопомехи, неопределенность измерения.

Введение

При работе системы электрооборудования автомобиля между электродами распределителя и свечой зажигания, контактами электрических приборов, а

также между щетками и коллектором генератора и электродвигателей создается искрение, являющееся причиной возникновения высокочастотных электромагнитных волн, которые создают помехи, ухудшающие прием радио- и телевизионных передач и

мешающие работе радиолокационных установок. Особенно сильные помехи создает система зажигания. Именно поэтому п. 59 в главы III Международной конвенции о дорожном движении [1], предписывает, что система зажигания высокого напряжения двигателей автомобилей не должна являться источником чрезмерных радиоэлектрических помех.

Развитие международной стандартизации привели к разработке международного стандарта по системам менеджмента качества в автомобильной промышленности – ISO/TS 16949: 2005 [2]. В соответствии с этим стандартом свидетельством приемлемости испытательной лаборатории для потребителя является ее аккредитация по международному стандарту ISO/IEC 17025:2005 [3], который предписывает необходимость наличия процедур оценивания неопределенности измерений, проводимых в аккредитованных испытательных лабораториях. Необходимость оценивания неопределенности измерений при испытаниях автотранспортных средств обоснована в статье [4]. К сожалению, этому вопросу в литературе уделяется незаслуженно малое внимание. Например, в работе [5] рассмотрено оценивание неопределенности только одного параметра – плотности воздуха.

В статье рассмотрены особенности обработки результатов измерений напряженности поля излучения систем зажигания автотранспортных средств в процессе их испытаний с оцениванием неопределенности измерений.

1. Методика испытаний

Стандарт [6] устанавливает пределы излучения, основанные на измерениях в полосе квазисамых частот 40 – 75 МГц на уровне 50 мкВ/м с линейным возрастанием от 50 до 120 мкВ/м в полосе от 75 до 250 МГц. При этом измеренные величины должны быть ниже контрольных на 20 % для типа транспортного средства, представленного на официальном утверждении в отношении подавления радиоэлектронных помех. Методика испытаний, изложенная в стандарте [6] предусматривает соответствие применяемого оборудования требованиям, изложенным в изданиях №2 и №5 Международного специального комитета по радиопомехам.

Реализация алгоритма обработки результатов измерений включает в себя выполнение следующих операций:

- а) проведение не менее четырех испытаний с выбором наибольшего из показаний в качестве достоверного (рис. 1);
- б) дублирование измерений на шести фиксированных частотах 45, 65, 90, 150, 180 и 220 МГц (± 5 МГц);
- в) обеспечение ширины полосы частот на уровне 120 кГц (или приведения показаний к этой полосе путем умножения на коэффициент $120/B$, где B – ширина полосы частот, превышающая 120 кГц);
- г) выполнение геометрических требований к месту проведения испытаний и пространственному расположению автотранспортного средства и антенн;

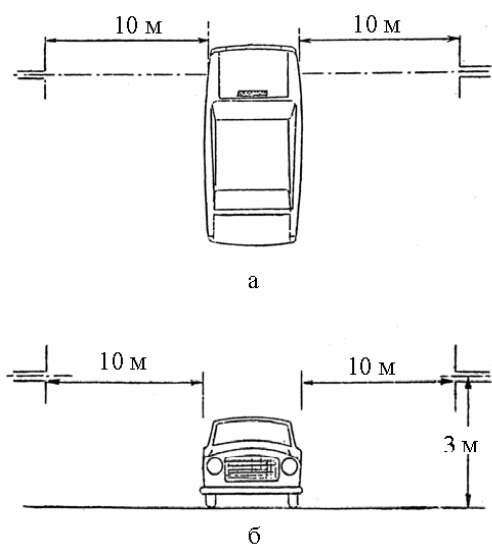


Рис. 1. Схема измерения:
а – вид сверху, положение диполя антенны при измерении горизонтальной составляющей излучения; б – вид спереди, положение диполя антенны при измерении вертикальной составляющей излучения

- д) выполнение требования к уровню фона посторонних помех и сигналов при проведении испытаний;
- е) применение статистического метода контроля уровня радиоэлектронных помех для серии автотранспортных средств.

2. Оценивание неопределенности результатов измерений

На основе Руководства [7] разработана процедура оценивания неопределенности измерения уровня радиоэлектрических помех. При ее реализации выполняются следующие операции:

- 1) составление модельного уравнения:

$$Y = \max[X_1, X_2, X_3, X_4], \quad (1)$$

где Y – результат измерения; X_1, X_2, X_3, X_4 – результаты четырех испытаний при расположении антенны слева и справа от автомобиля в вертикальной и горизонтальной поляризации;

- 2) оценивание входных величин производится по результатам прямых однократных измерений напряженности поля, производимых, например, с помощью измерительного приемника П5-42; при этом получают результаты x_1, x_2, x_3, x_4 ;

- 3) оценку результата измерения находят как $y = \max[x_1, x_2, x_3, x_4]$;

- 4) стандартные неопределенности входных величин оценивают по типу А и по типу В:
 - стандартные неопределенности типа А необходимо оценить из закона распределения максимальных значений результатов измерений;
 - стандартные неопределенности типа В оценивают из границ неисключенной систематической погрешности применяемого средства измерения в предположении равномерного распределения результатов измерения внутри границ;

5) для прямых измерений все коэффициенты чувствительности равны единице [8], поэтому все вклады неопределенности каждой входной величины в неопределенность измеряемой величины равны стандартным неопределенностям входных величин;

6) определение попарной ковариации входных величин: все входные величины являются некоррелированными;

7) вычисление суммарной стандартной неопределенности измеряемой величины осуществляется по формуле:

$$u_c(y) = \sqrt{u_A^2(y) + u_B^2(y)};$$

8) коэффициента охвата k определяется как коэффициент Стьюдента для числа эффективного числа степеней свободы, рассчитываемого по формуле Велча-Саттерсвейта:

$$v_{\text{eff}} = (n - 1) [u_c(y) / u_A(y)]^4;$$

9) вычисление расширенной неопределенности измеряемой величины осуществляется по формуле

$$U = k u_c(y).$$

В приведенной процедуре все шаги являются стандартными, за исключением оценивания неопределенности по типу А, рассмотренной ниже.

3. Моделирование закона распределения максимальных значений результатов измерений

Закон распределения максимальных значений результатов определяется в результате моделирования методом Монте-Карло [9]. Алгоритм моделирования включает в себя следующие операции:

- 1) генерация четырех (по числу испытаний) результатов измерений, распределенных равномерно с заданным средним значением и средним квадратическим отклонением (СКО);
- 2) выбор максимального значения из результатов измерений;
- 3) повторение шагов 1-2 не менее 10^5 раз для образования массива максимальных значений;
- 4) построение гистограммы для полученного массива данных;
- 5) определение параметров гистограммы. Результат моделирования представлен на рис. 2.

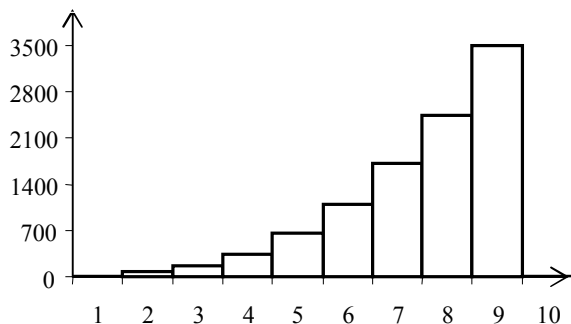


Рис. 2. Гистограмма распределения максимальных значений результатов измерений

Как видно из полученной гистограммы, закон распределения максимальных значений результатов измерений представляет собой асимметричную функцию типа, которая может быть описана экспоненциальной функцией (рис. 3) вида [7, 10]:

$$f(X) = \begin{cases} 0, & X \notin [a_-; a_+]; \\ A \exp[-\lambda(X-x)], & X \in [a_-; a_+]. \end{cases} \quad (1)$$

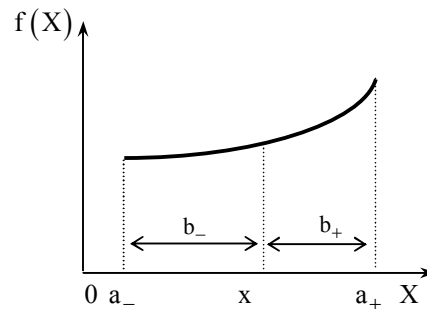


Рис. 3. Асимметричное (экспоненциальное) распределение $\lambda < 0; b_+ < b_-$

Исходя из условия нормировки $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$,

имеем $A = -\lambda / (e^{-\lambda b_+} - e^{\lambda b_-})$.

Оптимальное соотношение между параметрами A и λ будем выбирать, воспользовавшись принципом максимальной энтропии [7].

Энтропия экспоненциального распределения (1) будет равна

$$\begin{aligned} H(X) &= - \int_{x-b_-}^{x+b_+} f(X) \ln f(X) dX = \\ &= - \int_{x-b_-}^{x+b_+} f(X) [\ln A - \lambda(X-x)] dx = \\ &= - \left\{ \begin{aligned} &\ln A \int_{x-b_-}^{x+b_+} f(X) dX + \lambda x \int_{x-b_-}^{x+b_+} f(X) dX - \\ &-\lambda \int_{x-b_-}^{x+b_+} X \cdot f(X) dX \end{aligned} \right\} = \\ &= -\ln A - \lambda x + \lambda x = -\ln A = \ln \frac{e^{\lambda b_-} - e^{-\lambda b_+}}{\lambda}. \quad (2) \end{aligned}$$

Максимум энтропии будет достигаться при $\frac{\partial H}{\partial \lambda} = 0$.

Дифференцируя выражение (2) по λ и приравняв результат нулю, получаем

$$b_+ e^{-\lambda b_+} + b_- e^{\lambda b_-} = \frac{e^{\lambda b_-} - e^{-\lambda b_+}}{\lambda} = \frac{1}{A}. \quad (3)$$

Из выражения (3), получаем следующие два соотношения:

$$A = [b_- \exp(\lambda b_-) + b_+ \exp(-\lambda b_+)]^{-1} \quad (4)$$

и

$$\lambda = \frac{\exp[\lambda(b_+ + b_-)] - 1}{b_- \exp[\lambda(b_+ + b_-)] + b_+} \quad (5)$$

Дисперсія експоненціального розподілення буде рівна

$$\begin{aligned} u^2(X) &= \int_{x=b_-}^{x=b_+} f(X)(X-x)^2 dX = \\ &= A \int_{x=b_-}^{x=b_+} e^{-\lambda(X-x)} (X-x)^2 dX = \\ &= -\frac{A}{\lambda} (b_+^2 e^{-\lambda b_+} - b_-^2 e^{\lambda b_-}). \end{aligned}$$

С урахуванням виражень (4) і (5), отримуємо:

$$u(X) = \sqrt{b_+ b_- - (b_+ - b_-) / \lambda}. \quad (6)$$

Це значення стандартної неопределенності типу А використано в розрахунках сумарної стандартної і розширеної неопределенності вимірювання напруженості поля випромінювання систем запалювання автомобільних двигунів під час стендових випробувань / В.В. Мерджієвська // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 4 (71). – С. 108-111.

Висновки

1. Предложена процедура обработки результатов измерений уровня радиоэлектрических помех, соответствующая требованиям международных и отечественных стандартов и включающая в себя оценивание стандартной суммарной и расширенной неопределенности измерений.

2. В результате моделирования методом Монте-Карло получена гистограмма закона распределения максимальных значений результатов измерения напряженности поля.

3. С помощью метода максимальной энтропии получена аппроксимация закона распределения

экспоненциальной функцией, для которой определены параметры и стандартная неопределенность.

Список литературы

1. Конвенция о дорожном движении. – Вена, 1968.
2. ISO/TS 16949:2002. Quality management systems – Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations. – ISO, 2002. – 27 p.
3. ISO/IEC 17025:2005. General requirement for the competence of testing and calibration laboratories, 2005. – 18 p.
4. Жарко Ю.Г. Испытания автотранспорта: стандартизация, сертификация, оценивание неопределенности измерений / Ю.Г. Жарко // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 4 (71). – С. 108-111.
5. Мерджієвська В.В. Оцінювання невизначеності вимірювання параметрів автомобільних двигунів під час стендового випробування / В.В. Мерджієвська // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 4 (71). – С. 112-116.
6. ДСТУ UN ECE R 10-01:2002. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів стосовно заглушення радіоелектричних завод. – Замість ГОСТ 17822-91; увед. 2004 – 07 – 24 – К.: Держспоживстандарт, 2002. – 19 с.
7. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. ISO, Geneva, First Edition. – 1995 – 101 p. – Пер. с англ. – СПб: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1999 – 126 с.
8. Захаров И.П. Составление бюджета неопределенности прямых измерений / И.П. Захаров // Український метрологічний журнал. – 2004. – № 3. – С. 5-11.
9. Захаров И.П. Применение метода Монте-Карло для оценивания неопределенности в измерениях / И.П. Захаров, С.В. Водотыка // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 4 (71). – С. 34-37.
10. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Х.: Консум, 2002. – 256 с.

Поступила в редколлегию 9.07.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.П. Мачехин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ РІВНЯ РАДІОЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАВАД, ЩО СПРИЧИНЯЮТЬСЯ СИСТЕМАМИ ЗАПАЛЮВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Ю.Г. Жарко, І.П. Захаров, О.М. Сліпченко, К.П. Сорока

Розглянуто методику проведення випробувань та особливості обробки результатів вимірювань напруженості поля випромінювання систем запалювання автотранспортних засобів з оцінюванням невизначеності вимірювань. Проведено моделювання за допомогою методу Монте-Карло. Отримано гистограму закону розподілення результатів вимірювань. Методом максимуму ентропії виконано її апроксимацію експоненціальною функцією. Надані рекомендації з вибору ефективної оцінки стандартної та розширеної невизначеності.

Ключові слова: автотранспортний засіб, система запалювання, радіозавади, невизначеність вимірювань.

MEASURING UNCERTAINTY EVALUATION UNDER DESCRIBING LEVEL OF RADIO-ELECTRIC HANDICAPS CAUSED SYSTEMS OF IGNITION OF VEHICLES

Yu.G. Zharko, I.P. Zakharov, E.N. Slipchenko, E.P. Soroka

Features of the measurements results processing of the field strength of the vehicles ignition systems during their tests with measurements uncertainty evaluation are considered. Modelling by a Monte Carlo simulation is carried out. The histogram of the law of distribution of results of measurements is received. The method maximal entropy executes its approximation by exponential function. Recommendations are given at the choice of an effective estimation of the standard and expanded uncertainty.

Keywords: vehicle, ignition system, radio interference, uncertainty in measurement.