

УДК 621.31.048

И.П. Захаров, Н.С. Шевченко

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина*

## ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОПОМЕХ ОТ НАЗЕМНОГО ГОРЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

*Проанализированы особенности проведения испытаний трамвайных вагонов и пассажирских троллейбусов на излучаемые радиопомехи и выявлены основные источники неопределенности измерения, оказывающие влияние на точность результата измерений напряженности поля радиопомех. На основе анализа разработана процедура оценивания неопределенности измерения радиопомех, основанная на модельном подходе в соответствии с базовым алгоритмом, а также составлен бюджет неопределенности измерений напряженности поля радиопомех.*

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, промышленные радиопомехи, наземное городское электротранспортное средство, напряженность поля радиопомех, неопределенность измерения, бюджет неопределенности измерения.

### Введение

**Постановка проблемы.** Наземные городские электротранспортные средства (трамвайные вагоны и пассажирские троллейбусы) представляют собой источники промышленных радиопомех, измерение которых является необходимым условием обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств.

Измерения при испытаниях технических средств на соответствие нормам промышленных радиопомех должны проводиться специализированными испытательными лабораториями. Аккредитация таких лабораторий на соответствие требованиям стандарта ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [1] делает необходимым наличие процедур оценивания неопределенности измерений, проводимых при испытаниях. В настоящее время не существует отечественных нормативных документов, описывающих порядок оценивания неопределенности измерений в области ЭМС и, в частности, при испытаниях электротранспортных средств на помехоэмиссию. В то же время, исследования [2] показывают, что оценивание неопределенности для таких измерений имеют определенную специфику.

**Целью данной статьи** является разработка процедуры оценивания неопределенности измерения напряженности поля радиопомех от электротранспортных средств.

### 1. Особенности измерения радиопомех, создаваемых наземными городскими электротранспортными средствами

Измерения при испытаниях технических средств на соответствие нормам промышленных радиопомех должны проводиться в соответствии с требованиями и методами, описанными в стандарте [3].

К промышленным радиопомехам относят электромагнитные помехи диапазона радиочастот, создаваемые электронными и электрическими устройствами, распространяющиеся в открытом пространстве и проводной среде. Распространяющиеся в свободном пространстве промышленные радиопомехи от электротранспортных средств характеризуют электрической или магнитной составляющими напряженности электромагнитного поля.

Аппаратура, применяемая при испытаниях технических средств на соответствие нормам радиопомех, должна соответствовать требованиям стандарта [4].

При испытаниях электротранспортных средств на помехоэмиссию выполняют измерения квазипиковых значений напряженности поля радиопомех в децибелах относительно 1 мкВ/м в полосе частот 0,24 – 300 МГц в соответствии с требованиями межгосударственного стандарта [5].

Измерение напряженности поля радиопомех проводят на транспортном средстве в снаряженном состоянии, устанавливая антенну между опорами параллельно оси контактного провода на расстоянии 10 м от оси движения транспортного средства.

Испытание электротранспортных средств на радиопомехи осуществляют методом прямых измерений при помощи селективного вольтметра SMV-11 (рис. 1) в комплекте с антенной FMA-11 (0÷1,6) МГц на частотах (0,24; 1,0) МГц и с антенной FMA-11(1,6÷30) МГц на частотах (3,5; 10,0; 30) МГц, и с помощью прибора BSM 401-A1 с антенной MA-101 на частотах (30; 45; 90; 180; 300) МГц.

На каждой частоте напряженность поля радиопомех измеряют в следующем порядке:

– транспортное средство находится в недвижимом состоянии с включенными потребителями электрической энергии;

- во время разгона транспортного средства до (35±5) км/ч;
- во время торможения транспортного средства от (35±5) км/ч;
- во время его движения с постоянной скоростью (35±5) км/ч.



Рис. 1. Селективный вольтметр SMV-11

Измерения проводят при шести и более проездах электроподвижного состава места установки антенны для каждого режима движения.

За результат измерения напряженности поля радиопомех  $E$ , в дБ, на каждой частоте и при каждом режиме движения транспортного средства принимают максимальное значение из выполненных измерений. При этом модельное уравнение имеет вид:

$$E = E_{i\max} + \delta_{i\text{нп}} + \delta_T + \delta_{\text{а}}, \quad (1)$$

где  $E_{i\max}$  – максимальное измеренное значение напряженности поля радиопомех, дБ;  $\delta_{i\text{нп}}$  – поправка на основную погрешность измерения прибора, дБ;  $\delta_T$  – поправка на температурную погрешность прибора, дБ;  $\delta_{\text{а}}$  – поправка на дополнительную погрешность измерительного прибора, дБ (с учетом погрешностей антенны, которая используется при измерении напряженности поля на конкретных частотах). Следует отметить, что математические ожидания приведенных поправок  $\delta_{i\text{нп}}$ ,  $\delta_T$  и  $\delta_{\text{а}}$  равны нулю.

## 2. Оценивание неопределенности измерения напряженности поля радиопомех

Неопределенность измерения напряженности поля радиопомех оценивается по базовому алгоритму, основанному на модельном подходе к оцениванию неопределенности измерений, который подразумевает составление модельного уравнения и вычисление результата измерения и его неопределенности через значения и неопределенности входных величин.

Модельному уравнению (1) соответствует следующее выражение для суммарной стандартной неопределенности измерения радиопомех  $u_c(E)$  согласно [6]:

$$u_c(E) = \sqrt{u^2(\delta_{i\text{нп}}) + u^2(\delta_T) + u^2(\delta_{\text{а}})}, \quad (2)$$

где  $u(\delta_{i\text{нп}}) = \frac{\theta_{i\text{нп}}}{\sqrt{3}};$  (3)

$$u(\delta_T) = \frac{\theta_T}{\sqrt{3}}; \quad (4)$$

$$u(\delta_{\text{а}}) = \frac{\theta_{\text{а}}}{\sqrt{3}} - \quad (5)$$

стандартные неопределенности по типу В соответственно  $\delta_{i\text{нп}}$ ,  $\delta_T$ ,  $\delta_{\text{а}}$  в предположении равномерного распределения погрешности в пределах границ  $\pm\theta_{i\text{нп}}$ ,  $\pm\theta_T$ ,  $\pm\theta_{\text{а}}$ .

Расширенная неопределенность оценивается по формуле:

$$U(E) = k \cdot u_c(E), \quad (6)$$

где  $k = 2$  – коэффициент охвата, обеспечивающий 95% уровень доверия при близком к нормальному распределении.

Бюджет неопределенности измерений радиопомех приведен в табл. 1.

Таблица 1

Бюджет неопределенности измерений напряженности поля радиопомех

| Входная величина      | Оценки входных величин      | Стандартные неопределенности входных величин | Коэффициент чувствительности | Вклады неопределенности, дБ  |
|-----------------------|-----------------------------|--|------------------------------|------------------------------|
| $E_{i\max}$           | $\hat{E}_{i\max}$           | –  | –                            | –                            |
| $\delta_{i\text{нп}}$ | 0                           | (3), дБ                                      | 1                            | (3), дБ                      |
| $\delta_T$            | 0                           | (4), дБ                                      | 1                            | (4), дБ                      |
| $\delta_{\text{а}}$   | 0                           | (5), дБ                                      | 1                            | (5), дБ                      |
| Выходная величина     | Оценка выходной величины    | Суммарная стандартная неопределенность       | Коэффициент охвата           | Расширенная неопределенность |
| $E$                   | $\hat{E} = \hat{E}_{i\max}$ | (2), дБ                                      | 2                            | (6), дБ                      |

Результат измерения напряженности поля радиопомех, включающий в себя оценку выходной

величини и приписанное ей значение расширенной неопределенности с указанием уровня доверия, представляется в следующем виде:

$$E = \hat{E} \pm U(E), p = 0,95. \quad (7)$$

Значение неопределенности измерения при представлении результата измерения округляется до двух значащих цифр.

Оценка результата измерений напряженности поля радиопомех прибором SMV-11 с антенной FMA-11(0÷1,6) МГц на частоте 0,24 МГц составила  $E_{i\max} = 4 \text{ äÄ}$ . Границы неисключенных систематических погрешностей были определены по паспортными данными на прибор и антенну и составили  $\theta_{i\max} = 2 \text{ äÄ}$ ,  $\theta_T = 0,3 \text{ äÄ}$ ,  $\theta_{\text{ä}} = 1 \text{ äÄ}$ . Расширенная неопределенность измерения составила 2,6 дБ.

При переходе от относительных единиц к абсолютным при выражении результата и неопределенности измерений необходимо воспользоваться рекомендациями, изложенными в работе [7].

### Выводы

В статье изложены основные особенности измерения радиопомех, создаваемых наземными городскими электротранспортными средствами и оценивания их неопределенности, приведены основные источники неопределенности, формулы расчета стандартных неопределенностей измерения входных величин, суммарной стандартной и расширенной неопределенностей измерения радиопомех, а также составлен бюджет неопределенности измерения напряженности поля радиопомех. Приведенная процедура оценивания неопределенности измерения напряженности поля радиопомех может применяться при проведении испытаний электротранспортных средств на помехоэмиссию испытательными лабораториями, аккредитованными по стандарту [1].

### Список литературы

1. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005). – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 26 с.
2. Захаров И.П. Особенности подходов к оцениванию неопределенности измерений в области ЭМС в документах CISPR 16-4 / И.П. Захаров, Н.С. Шевченко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 1 (91). – С. 6-11.
3. ДСТУ CISPR 16-2:2005 Технічні вимоги до апаратури та методів вимірювання радіозавад і несприйнятливості. Частина 2. Методи вимірювання радіозавад і несприйнятливості (CISPR 16-2:2002, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 89 с.
4. ДСТУ CISPR 16-1:2005 Технічні вимоги до апаратури та методів вимірювання радіозавад і несприйнятливості. Частина 1. Апаратура для вимірювання радіозавад і несприйнятливості (CISPR 16-1:2002, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 170 с.
5. ГОСТ 29205-91 Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от электротранспорта. Нормы и методы испытаний. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1993. – 8 с.
6. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений». – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 23 с.
7. Захаров И.П. Особенности оценивания неопределенности измерения при выражении входных величин в децибелах / И.П. Захаров, Н.С. Шевченко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2009. – Вип. 5(79). – С. 29-32.

Поступила в редколлегию 19.08.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина.

### ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ РАДІОПЕРЕШКОД ВІД НАЗЕМНОГО МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТА

І.П. Захаров, Н.С. Шевченко

Проаналізовано особливості проведення випробувань трамвайних вагонів і пасажирських троллейбусів на радіоперешкоди та виявлені основні джерела невизначеності вимірювань, що впливають на точність результату вимірювань напруженості поля радіоперешкод. На основі аналізу розроблена процедура оцінювання невизначеності вимірювання радіоперешкод, заснована на модельному підході у відповідності з базовим алгоритмом, а також складений бюджет невизначеності вимірювань напруженості поля радіоперешкод.

**Ключові слова:** електромагнітна сумісність, промислові радіоперешкоди, наземний міський електротранспортний засіб, напруженість поля радіоперешкод, невизначеність вимірювання, бюджет невизначеності вимірювань.

### FEATURES OF MEASUREMENT UNCERTAINTY EVALUATION OF RADIO INTERFERENCE FROM SURFACE URBANELECTRIC TRANSPORT

I.P. Zakharov, N.S. Shevchenko

The features of test operation of tramcars and passenger trolleybuses on radiated radio interference are analyzed, the basic measurement errors which affect the accuracy of the measurement result of the radio interference field strength are found out. On the base of the analysis the procedure of measurement uncertainty evaluation of radio interference based on the modelling approach in accordance with the basic algorithm is developed as well as the uncertainty budget of radio interference field strength measurement is made.

**Keywords:** electromagnetic compatibility, industrial radio interference, surface urban electric transport vehicle, radio interference field strength, measurement uncertainty, measurement uncertainty budget.