

ОЦІНКА ЯКОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ІНФОСИГНАЛІВ У ТЕЛЕМЕТРІЇ

Козаченко М.Т., Жмурко Ю.В.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1.
kaf.mcc@onat.edu.ua*

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ИНФОСИГНАЛОВ В ТЕЛЕМЕТРИИ

Козаченко М.Т., Жмурко Ю.В.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.
kaf.mcc@onat.edu.ua*

EVALUATION OF QUALITY MEASUREMENT TELEMETRY

Kozachenko M.T., Zhmurko Y. V.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kovalska St., Odessa 65029, Ukraine.
kaf.mcc@onat.edu.ua*

Анотація. У статті розглядаються питання оцінки якості вимірювань в телеметрії з використанням поняття „невизначеність результатів прямих і непрямих вимірів”, що відповідає міжнародним стандартам. Розглядається також оцінка стандартної, сумарної і розширеної невизначеності за типом *A* і за типом *B*. Підкреслюються особливості оцінювання невизначеності вимірювання телеметрії. Показано, що наявність кореляції між окремими параметрами телеметричних сигналів при непрямих вимірах призводить до збільшення невизначеності.

Ключові слова: невизначеність, кореляція, виміри.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы оценки качества измерений в телеметрии с использованием понятия „неопределенность результатов прямых и косвенных измерений”, что соответствует международным стандартам. Рассматривается также оценка стандартной, суммарной и расширенной неопределенности по типу *A* и по типу *B*. Подчеркиваются особенности оценки неопределенности измерений в телеметрии. Показано, что наличие корреляции между отдельными параметрами телеметрических сигналов при косвенных измерениях приводит к увеличению неопределенности.

Ключевые слова: неопределенность, корреляция, измерения.

Abstract. The paper presents the evaluation questions the quality of measurements in telemetry using the concept of uncertainty in the results of direct and indirect measurements that meet international standards. We also consider the evaluation of the standard, and the total expanded uncertainty of type *A* and type *B*. Highlights the particular evaluation of measurement uncertainty in the telemetry. It is shown that the correlation between the individual parameters of telemetry signals during indirect measurements leads to increased uncertainty.

Key words: uncertainty, correlation, dimensions.

У світовій практиці стандартизації оцінювання якості вимірювань на основі міжнародних нормативних документів і стандартів прийнято оцінювати їх якість через такий показник, як невизначеність результатів вимірювань. Це дає можливість, по-перше, врахувати зміни нормованих значень як основної, так і додаткової похибки (засобу вимірювальної техніки) ЗВТ. І, по-друге, давати оцінку довірчого інтервалу не відносно істинного значення вимірюваної величини, яке невідоме, а відносно дійсного, яке визначається дослідним шляхом. Крім того, в цьому випадку є реальна можливість врахувати

не виявлені складові систематичної похибки, що мають місце. Позитивним є і те, що використання оцінки невизначеності результатів вимірювань дає можливість наочно вирішувати питання про відповідність (невідповідність) вимірних характеристик об'єкта встановленим нормам. Наприклад, якщо значення нормованих характеристик не перекриваються розширеною невизначеністю, то можна робити впевнений висновок про відповідність характеристик досліджуваного об'єкта встановленим нормам.

Метою статті є оцінка якості вимірювань телеметричної інформації з використанням стандартної, сумарної і розширеної невизначеностей результату вимірювань.

При передаванні телеметричної інформації по каналах зв'язку найчастіше використовують прямі виміри, але в окремих випадках виникає необхідність і в непрямих вимірах [1]. Основною характеристикою якості прямих вимірів є стандартна невизначеність, яка розраховується за типом *A* за наявності статистичного ряду вимірів і за типом *B* з використанням характеристик вимірюваного об'єкта і ЗВТ та характеристик навколишнього середовища [2].

При непрямих вимірах якості вимірів оцінюється сумарною стандартною невизначеністю з урахуванням (або без урахування) кореляції між окремими складовими, що входять у рівняння виміру.

При оцінці якості прямих вимірів не використовується статистичний аналіз ряду вимірів, тобто оцінювання якості вимірів виконується через розрахунок стандартної невизначеності за типом *B*.

Для розрахунку стандартної невизначеності вимірів за типом *B* використовують апріорні відомості про характеристики ЗВТ: межі основної і додаткової похибки, вхідний опір; характеристику об'єкта виміру; умови виміру (температура довкілля, вологість, атмосферний тиск тощо)[3].

У результаті записують рівняння наступного виду:

$$Y = f(X, a, \{\theta_i\}),$$

де *X* – вимірювана величина; *a* – основна похибка ЗВТ; θ_i ($i=1,2,\dots,L$) – набір незалежних одна від одної апріорі відомих характеристик ЗВТ, що впливають на результат виміру.

Після чого і визначається сумарна стандартна невизначеність виміру *X* з виразу:

$$H_B(X) = \sqrt{H_B^2(a) + \sum_{i=1}^L H_B^2(\theta_i)},$$

де $H_B(a)$ – невизначеність, обумовлена основною похибкою ЗВТ; $H_B(\theta_l)$ – стандартна невизначеність чинника θ_l , вимірюючого значення величини, що впливає на результат.

Невизначеність виміру значень вимірюваної величини, спричинену впливаючими чинниками θ_i ($i = 1,2,\dots,L$), слід визначати з рівняння

$$H_{(B,\theta_l)} = c_l H_B(\theta_l),$$

тут $c_l = \frac{\partial X}{\partial \theta_l}$ – коефіцієнт чутливості при дії θ_l – чинника ($l = 1,2,\dots,L$); $H_B(\theta_l)$ – невизначеність значення θ_l чинника.

За необхідності визначають розширену невизначеність вимірюючої величини з наступного виразу:

$$H_{p,B} = k H_{CB}(X),$$

де *k* – коефіцієнт охоплення.

Для нормального закону (закону Гаусса) при значенні довірчої ймовірності $P_d = 0,95$ і коефіцієнта $k = 1,96$.

Оцінка якості прямих вимірів за наявності статистичного ряду виконується шляхом аналізу цього ж ряду і визначення стандартної невизначеності. При цьому виконують багатократні виміри величини; обчислюють математичне очікування ряду вимірів

$$M(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Розраховують стандартну невизначеність окремих складових статистичного ряду вимірів за формулою

$$H_A(X_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - M(X))^2}, \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

і дають оцінку стандартної невизначеності статистичного ряду в цілому

$$H_A(X) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - M(X))^2}, \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

У багатьох практичних випадках, а також в науково-дослідних роботах виникає необхідність при оцінюванні якості вимірів, за можливістю, врахувати всі чинники, що впливають на результат виміру.

Для цієї мети визначають результуючу сумарну невизначеність $H_{\Sigma(A,B)}(X)$ згідно з наступним виразом

$$H_{\Sigma(A,B)} = \sqrt{H_A^2(X) + H_{C,B}^2(X)}.$$

Треба відзначити, що результуюча невизначеність виміру дає можливість оцінити його якість з урахуванням як внутрішніх, так і зовнішніх впливаючих чинників.

Для оцінки розширеної невизначеності результату виміру використовують вираз

$$H_P(X) = k H_{\Sigma(A,B)}(X),$$

де k – коефіцієнт охоплення.

Тут k визначається як коефіцієнт Стюдента t_p для ефективного числа ступенів свободи ν_{eff} при заданій довірчій ймовірності P_d , тобто $k = f(\nu_{eff}, P_d)$.

На практиці для прямих вимірів застосовують $\nu_{eff} = n - 1$.

Оцінка якості непрямих вимірів виконується на основі сумарної невизначеності, яка визначається і за типом A і за типом B .

Алгоритм оцінки за типом B полягає у:

– складанні рівняння виміру

$$Y = f(X_k), \quad k = 1, 2, \dots, m;$$

– визначенні стандартних невизначеностей m результатів прямих вимірів величини, тобто

$$H_B(X_k) = \sqrt{\sum_{k=1}^m H_B^2(a_k) + \sum_{l=1}^L H_B^2(\theta_l)},$$

де $a_k (k = 1, 2, \dots, m)$ – основна похибка ЗВТ; $\theta_l (l = 1, 2, \dots, L)$ – набір незалежних один від одного чинників, що впливають на результат виміру (наприклад, вхідний опір ЗВТ, опір навантаження, температура довкілля тощо);

– визначенні сумарної стандартної невизначеності за формулою

$$H_{C,B}(X_k) = \sqrt{\sum_{k=1}^m c^2(X_k) H_B^2(X_k)},$$

де $c(X_k) = \frac{\partial f}{\partial X_k}$ – коефіцієнт чутливості, $k = 1, 2, \dots, m$.

При оцінці якості непрямих вимірів за наявності статистичного ряду використовують сумарну невизначеність результату виміру, розраховану за типом A . Для цього необхідно:

- записати рівняння виміру $Y = f(X_1; X_2; \dots; X_m)$;
- виконати багатократні виміри вхідних величин $(X_1; X_2; \dots; X_m)$ й отримати статистичні ряди:

$$\begin{aligned} & X_{1,1}; X_{1,2}; \dots; X_{1,n}; \\ & X_{2,1}; X_{2,2}; \dots; X_{2,n}; \\ & \vdots \\ & X_{m,1}; X_{m,2}; \dots; X_{m,n}; \end{aligned}$$

- визначити значення математичних очікувань цих рядів:

$$M(X_1); M(X_2); \dots; M(X_m);$$

- виконати розрахунок стандартної невизначеності вхідних величин

$$\begin{aligned} H_A(X_1) &= \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_{i,1} - M(X_1))^2}; \\ H_A(X_2) &= \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_{i,2} - M(X_2))^2}; \\ & \vdots \\ H_A(X_m) &= \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_{i,m} - M(X_m))^2}. \end{aligned}$$

де $i = 1, 2, \dots, n$; $q = 1, 2, \dots, m$.

Стандартні невизначеності $H_A(X_k)$ ($k = 1, 2, \dots, m$) вимірів дозволяють дати оцінку випадкової складової основної похибки.

Для оцінки сумарної невизначеності $H_{C,A}(Y)$ необхідно розрахувати коефіцієнти чутливості $c(X_1) = \frac{\partial Y}{\partial X_1}$; $c(X_2) = \frac{\partial Y}{\partial X_2}$; \dots ; $c(X_m) = \frac{\partial Y}{\partial X_m}$, і підставити їх у вираз:

$$H_{C,A}(Y) = \sqrt{\sum_{q=1}^m c^2(X_k) H_{C,A}^2(X_k)}, \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

Результуюча невизначеність виміру при непрямому способі визначається наступним чином:

$$H_{\Sigma(A,B)}(Y) = \sqrt{H_{C,A}^2(Y) + H_{C,B}^2(Y)}.$$

Розширена невизначеність, яка дає можливість оцінити довірчий інтервал, визначається виразом

$$H_P(Y) = k H_{\Sigma(A,B)}(Y),$$

де k – коефіцієнт охоплення і визначається також, як уже раніше зазначалось.

У розглянутій вище оцінці якості непрямих вимірів передбачалося, що складові X_k ($k = 1, 2, \dots, m$) незалежні одна від одної, тобто некорельовані. Проте в реальних умовах така залежність завжди існує. Цей зв'язок може бути “слабким” (ним нехтують) і “сильним” (з ним треба рахуватися). І завдання полягає у визначенні причин, що викликають зв'язок між окремими вимірюваними величинами, а також характер цього зв'язку. Треба відзначити, що в реальних умовах, як правило, вимірювані величини корельовані, і вони залежать від одних і тих самих незалежних одна від одної змінних $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_l, \dots, \theta_L)$.

Для оцінки зв'язку між вимірюваними величинами вводять коефіцієнт кореляції $r(X_k, X_q)$, який визначається за формулою

$$r(X_k, X_q) = \frac{\sum_{i,j=1}^n (X_{k,i} - M(X_k))(X_{q,j} - M(X_q))}{\sqrt{\sum_{i,j=1}^n (X_{k,i} - M(X_k))^2 \sum_{j=1}^n (X_{q,j} - M(X_q))^2}}$$

де $k, q = 1, 2, \dots, m$; $i, j = 1, 2, \dots, n$.

Звідси, вираз для сумарної невизначеності результату непрямих вимірів надається у вигляді:

– за типом *A*

$$H_{C,A}(Y) = \sum_{k=1}^m c_{X_k}^2 H_A^2(X_k) + \sum_{k=1}^m \sum_{q=1}^m c_{X_k} c_{X_q} r(X_k, X_q) H_A(X_k) H_A(X_q),$$

– за типом *B*

$$H_{C,B}(Y) = \sum_{k=1}^m c_{X_k} H_B^2(X_k) + \sum_{k=1}^m \sum_{q=1}^m c_{X_k} c_{X_q} H_B(X_k) H_B(X_q),$$

де $H_A(X_k)$; $H_A(X_q)$; $H_B(X_k)$; $H_B(X_q)$ – стандартні невизначеності величин X_k і X_q , розраховані за типом *A* і за типом *B*;

$c_{X_k} = \frac{\partial Y}{\partial X_k}$; $c_{X_q} = \frac{\partial Y}{\partial X_q}$ – коефіцієнти чутливості.

Результуюча і розширена невизначеності, як і раніше, набирають вигляду:

$$H_{\Sigma(A,B)}(Y) = \sqrt{H_{C,A}^2(Y) + H_{C,B}^2(Y)},$$

$$H_p(Y) = k H_{\Sigma(A,B)}(Y).$$

Таким чином, аналізуючи отримані результати, можна дійти висновку, що наявність кореляції між окремими вимірюваними величинами призводить до зниження якісних показників результату вимірювань. Це викликає необхідність перед проведенням телеметричних вимірів (вибір схеми виміру, складання специфікації вимірів тощо) слідувати рекомендаціям ДСТ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Метрологія, стандартизація, сертифікація та управління якістю в системах зв'язку / [Коломієць Л.В., Воробієнко П.П., Козаченко М.Т., Налісний М.Б., Серебрін В.Л., Козаченко Л.О., Грабовський О.В., Лебединська Л.О.]. – Одеса: ТОВ «ВМВ», 2009. – 376 с.
2. РМГ 43-2001 ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».
3. Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения.

REFERENCES:

1. Metrology, standardization, certification and quality control in communication systems / [L.V. Kolomiets, P.P. Vorobienko, M.T. Kozachenko, M.B. Nalisnyy, V.L. Serebrin, L.A. Kozachenko, O.V. Grabowski, L.A. Lebedynska]. (2009): 376.
2. RMG 43-2001 ICG. Application "Guide to measurement uncertainty expression"
3. Managements ISO / IEC 98-3: 2008 measurement uncertainty.