

УДК 621.317

М.Й. Корчинський¹, М.М. Дорожовець¹, З.Л. Варша¹¹Technical University, Lodz, Poland²Національний університет «П'євська Політехніка», Львів, Україна³Technical University, Kielce-Radom, Poland

ОЧИЩЕННЯ РЯДІВ РЕЗУЛЬТАТІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЇХ НЕПЕВНОСТІ У ВІРТУАЛЬНИХ ЗАСОБАХ ВИМІРЮВАНЬ

У статті представлено новий віртуальний засіб вимірювань, що дозволяє досліджувати детерміновані та випадкові складові досліджуваного процесу разом із оцінюванням непевностей. Віртуальний засіб вимірювань в біжучому режимі опрацьовує зібрані рівномірно у часі дані і він містить розширений набір програмних процедур, які аналізують ідентифіковані періодичні та неперіодичні компоненти з наступним їх виключенням. Кілька практичних застосувань віртуального засобу вимірювань для покращання результатів вимірювання представлені у статті

Ключові слова: віртуальні прилади, опрацювання результатів, оцінювання непевності.

Вступ

На сьогоднішній день віртуальні засоби вимірювань знайшли широке застосування у вимірювальній практиці, однак дуже рідко їх застосовують до оцінювання непевності зареєстрованих результатів спостережень, хоча це дуже важлива складова вимірювального процесу. На практиці у багатьох промислових вимірюваннях та діагностичних дослідженнях (тестах), крім випадкових впливів, звичайно pojawiaються складні до виключення з апіорі невідомими параметрами впливи детермінованого характеру. Ці впливи спричиняють додаткові розсіювання результатів спостережень.

Існуючі віртуальні засоби вимірювань оснащені функціями фільтрації та усереднення, які звичайно допомагають в опрацюванні результатів, однак не забезпечують опрацювання з точки зору ідентифікації наявних періодичних та неперіодичних трендів, та оцінювання непевності результатів очищених від таких складових. Міжнародні документи ISO GUM [1 – 3, 6] також не охоплюють таких аналізів, загалом приймаючи, що зібрані дані є випадково розподіленими величинами.

Відомі результати досліджень, отримані у працях Корчинського та Хетмана [4] та Дорожовця і Варши [7, 8, 9], стосуються методів очищення результатів спостережень від апіорі невідомих систематичних впливів, однак не забезпечують їх автоматичного аналізу та опрацювання у вимірювальних приладах on-line.

Метою роботи є опрацювання програмних складових віртуального засобу вимірювань для виявлення, оцінювання параметрів та наступної корекції впливу регулярних і нерегулярних складових у вхідних даних, а також оцінювання непевності скоригованих результатів.

Отримані раніше результати щодо очищення вхідних даних від шкідливих складових нами узгалянені в створенні віртуального засобу вимірювань. Результати дослідження ефективності цих методів, що були представлені у [7,8, 11, 12], нами здійснені шляхом застосування відповідних імітаційних досліджень (симуляцій), і далі під час опрацювання реальних сигналів, однак із відомими контрольованими параметрами.

Покращання оцінювання непевності типу А

Якщо для визначення певної величини x , виконують n рівномірно розташованих у часі $t = t_i = (i-1)\Delta T$ результатів спостережень, тоді i -те значення результату спостереження отримане в момент часу $t = t_i$ може бути представлене у формі:

$$X_i = x + f(t_i) + e_i \text{ для } i = 1, 2, \dots, n,$$

де: $x \in R$ (R – дійсні числа); $f(t)$ – апіорі невідома детермінована функція; e_i – незалежні випадкові величини.

Джерела систематичних впливів описуються за допомогою члена $f(t)$, а випадкові впливи – $e(n)$. Після виявлення і коригування систематичних впливів результати спостережень набувають значень

$$q_i = X_i - f(t_i), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Однак на практиці величини $f(t)$, e_i є невідомими. В багатьох випадках приймають, що випадкова складова e_i має нормальний розподіл, для якої найкращою оцінкою результату вимірювання є середнє значення із скоригованих спостережень q_i , а стандартне відхилення середнього значення $s(\bar{q})$ є найкращою оцінкою стандартної непевності. Що ж

стосується функції $f(t)$, то в кожному вимірювальному експерименті вона залежить від багатьох впливних величин і простими методами не може бути виявлена і скоригована.

Запропонований метод опрацювання результатів спостережень згідний із рекомендаціями GUM і його основні положення описані у [7 – 9].

Блок-схема запропонованої нами процедури опрацювання результатів спостережень представлена на рис. 1 і вона передбачає наступні етапи:

1) дослідження зовнішніх систематичних впливів і прийняття рішення про їх виключення;

2) дослідження неперіодичних впливів і прийняття рішення про їх виключення;

3) дослідження періодичних впливів і прийняття рішення про їх виключення;

4) дослідження автокореляції випадкових складових і встановлення нового значення ефективної кількості ступенів свободи;

5) виконання тесту на згідність розподілу результатів прийнятій моделі густини розподілу і у разі відхилення від моделі нормального розподілу - визначення найкращої (відповідно до прийнятої моделі розподілу) оцінки результату і його непевності;

6) представлення результату та його непевності.

Етап 1 відноситься до зовнішніх впливів, якими можуть бути:

а) порушення у правильному функціонуванні вимірювального каналу, що спричиняють виникнення цілком помилкових результатів;

б) систематичні зміщення параметрів вимірювального каналу, зокрема функцій перетворення елементів вимірювального каналу тощо.

Впливи першого роду можна виявляти шляхом зіставлення отриманих результатів з очікуваними і за істотного їх відхилення з метою їх усунення доцільно здійснити повторення вимірювання.

Систематичні впливи другого роду можна врахувати на ранній стадії перед реєстрацією результатів спостережень шляхом коригування відомих систематичних відхилень параметрів первинного вимірювального перетворювача, вимірювального підсилювача та інших пристроїв вимірювального каналу. Таке коригування можна здійснювати автоматично, використовуючи додаткові зразкові величини та сенсори для вимірювання фактичних значень таких впливів.

На 2-му та 3-му етапах відбувається виявлення та очищення від неперіодичних та періодичних впливів. Ці впливи не стосуються самого об'єкту дослідження.

Для якісного та кількісного оцінювання таких впливів застосовуємо різні методи, зокрема методи частотного та регресивного аналізу. Методи очищення від таких впливів детально описані у [7, 8, 11 – 12].

На 4-му етапі відбувається аналіз автокореляції очищених від періодичних та неперіодичних трендів результатів спостережень. У разі виявлення істотної кореляції між спостереженнями визначають ефективну кількість незалежних результатів спостережень [7, 8, 11 – 12], яку далі враховують замість первинної кількості результатів спостережень для визначення стандартної непевності результату.

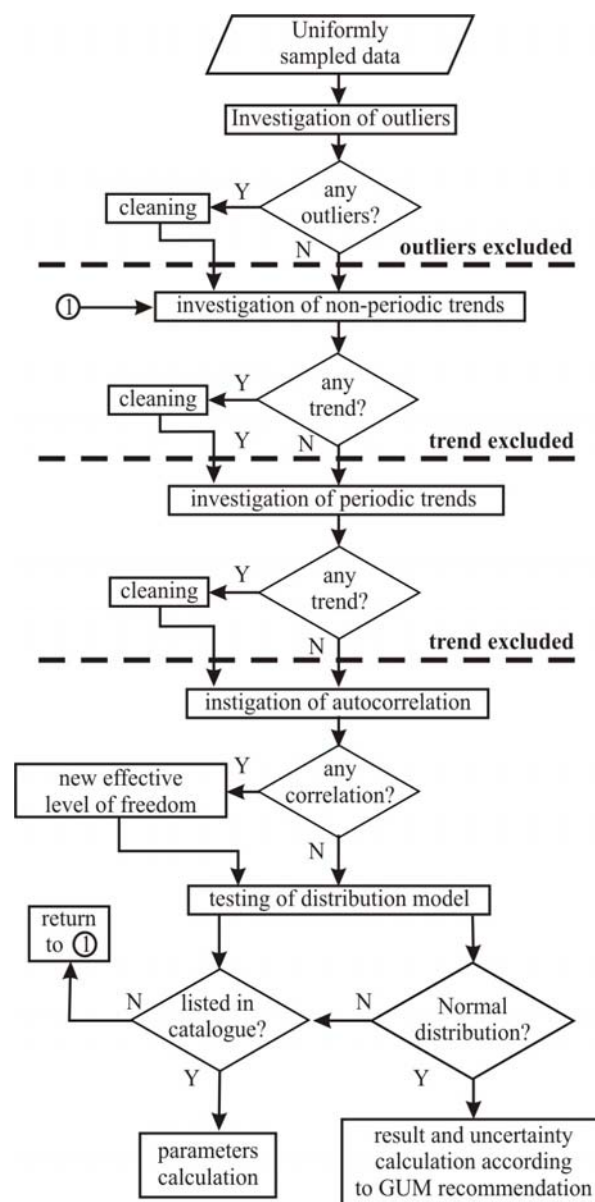


Рис. 1. Блок-схема процедури опрацювання результатів спостережень із очищенням від періодичних та неперіодичних впливів

5-й етап передбачає перевірку гіпотези про прийнятну модель (найчастіше нормальну) густини розподілу очищених результатів спостережень. Якщо тест не підтверджує моделі нормального розподілу, шукають іншу підходящу модель і далі визначають відповідно до цієї моделі найкращу оцінку результату вимірювання та його непевності [7 – 12].

Останній 6-й етап передбачає представлення результату вимірювання та його непевності згідно рекомендацій GUM [7 – 12], надаючи повну інформацію про виконані операції корекції та спосіб знаходження результату і його непевності, ефективну кількість ступенів свободи тощо.

Запропоновані процедури реалізовані у середовищі LabView®.

Результати експериментальних досліджень

Приклад 1. Оцінювання непевності uA сталої (DC) напруги кола із синусоїдним (AC) збуренням. Для практичних досліджень опрацьованих процедур і програмного забезпечення для оцінювання непевності uA вимірювання із синусоїдним збуренням була створена вимірювальна система (рис. 2) на базі 5½ цифрового мультиметра DMM NI 4060, що співпрацює із розробленою нами програмою очищення та оцінювання непевності в середовищі LabView®. Допустимі границі відхилення результатів $\pm 0,017\%$ від результату вимірювання та ± 10 мкВ.

Об'єкт дослідження виконаний у вигляді джерела постійної напруги та послідовно ввімкненого джерела синусоїдної змінної напруги. Прийнято, що джерело сталої напруги є стабільним і на нього не впливають ніякі внутрішні чи зовнішні величини і в рамках цього експерименту воно є відомим дійсним значенням.

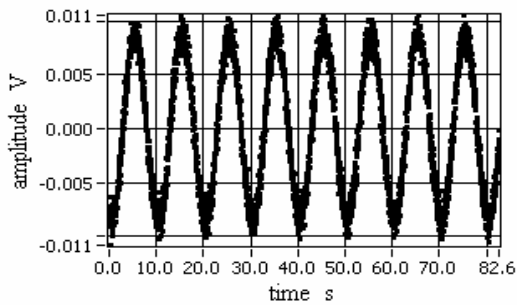


Рис. 3, а. Розкид результатів спостережень відносно середнього значення:
 $\bar{x} = 1,01735 \text{ V}$, $s_{n-1} = 6,19 \text{ mV}$

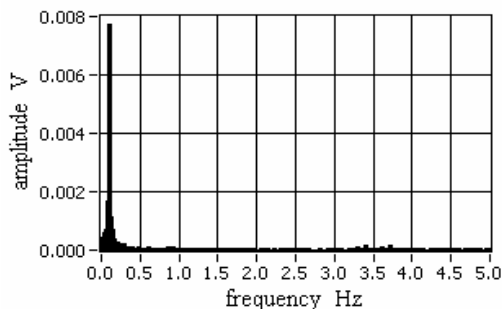


Рис. 3, б. Спектр розсіяних відносно середнього значення результатів спостережень на рис. 3.а

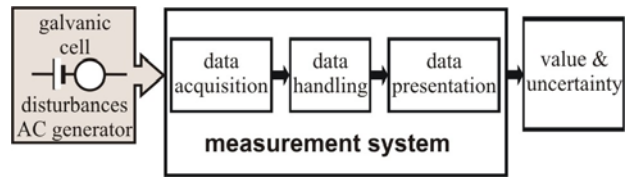


Рис. 2. Вимірювальна система для дослідження процедури очищення результатів вимірювань від періодичних складових

В експерименті вибірки сигналу бралися з інтервалом 0,02 с, а їх кількість становила $n=4096$.

Результати досліджень представлені на рис. 3.

На рис. 3,а-с (ліва колонка) наведені початкові дані та їх характеристики (спектр та гістограма) до очищення і у правій колонці на рис. 3, d-f показані дані після очищення.

Із вигляду часової залежності зареєстрованих (неочищених) результатів можна зауважити наявність у вхідних даних гармонічної складової, про що свідчить також вигляд спектру (рис. 3,б) та характер гістограми (рис. 3,с), яка має приблизно U-форму, що властиво для гармонічних сигналів.

Після очищення вхідних результатів від синусоїди у спектрі (рис. 3,е) домінуючих гармонік не спостерігається, а гістограма очищених результатів спостережень (рис. 3,ф) є достатньо близькою до форми нормального розподілу.

Виключення синусоїдного збурення із вхідних даних спричиняє невелику зміну середнього значення, близько 0,21 % порівняно до неочищених даних.

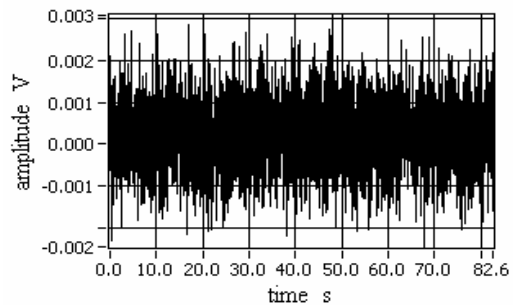


Рис. 3, d. Розкид очищених від синусоїдного збурення (частотою 0,101 Гц та амплітудою 10,66 мВ) результатів спостережень відносно середнього значення

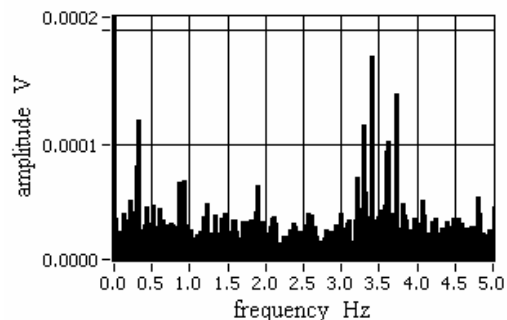


Рис. 3, е. Спектр розсіяних відносно середнього значення очищених від синусоїдного збурення результатів спостережень на рис. 3.д

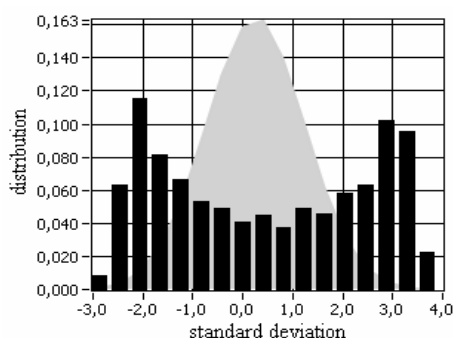


Рис. 3, с. Гістограма неочищених результатів спостережень та нормального розподілу

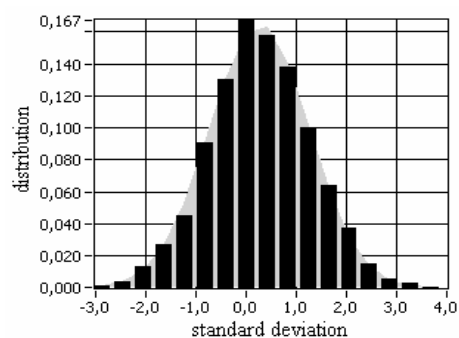


Рис. 3, f. Гістограма очищених результатів спостережень та нормального розподілу

Однак завдяки очищенню результатів від синусоїди істотно зменшується розкид результатів – стандартне відхилення зменшується від 6,16 мВ до 0,79 мВ. Це дає істотне зменшення стандартної непевності результату вимірювань (середнього значення).

Приклад 2. Тестування стабільності акустичного генератора. На рис. 4 показана блок-схема експерименту із дослідженням стабільності акустичних сигналів генератора із застосуванням процедури очищення зареєстрованих результатів спостережень від небажаних компонент для оцінювання непевності типу А.

Вимірювальна система збудована на основі 6 ½ цифрового вольтметра K2000 Keithley (допустимі границі відхилень результатів $\pm 0,06\%$ від результату вимірювання та $\pm 0,03\%$ від діапазону (використовувався 10 В діапазон)). У нашому випадку границі відхилень показів вольтметра дорівнюють

$$\pm(0,06\% \cdot 6,54 \text{ V} + 0,03\% \cdot 10,00 \text{ V}) = \pm 6,924 \text{ мВ},$$

тому складова непевності типу В результату становить $u_B = \frac{1}{\sqrt{3}} 6,924 \text{ мВ} = 4,000 \text{ мВ}$

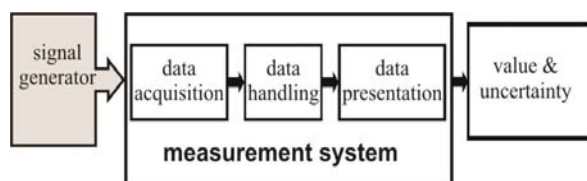


Рис. 4. Блок-схема експерименту із дослідження стабільності акустичних сигналів генератора

На рис. 5 та 6 показані зареєстровані результати вимірювань амплітуди напруги генерованого сигналу частотою 1000 Гц для двох різних періодів дискретизації. Результати, що представлені на рис. 5, a-d, відображають нестабільність напруги в часі протягом 5 год 41' 20" (1024 вибірок значень сигналу з періодом 20 с).

На рис. 6, a-d наведені такі самі дані лише для коротшого інтервалу часу 34' 06".

Зіставлення характеристик непевності результату вимірювання після застосування проце-

дури очищення вхідних даних апроксимації трендів алгебраїчними многочленами різних порядків наведено у табл. 1.

Висновки

Запропонована у роботі нова процедура очищення "on-line" шкідливих складових у зареєстрованому сигналі розширює можливості віртуальних засобів вимірювань в напрямку покращання результату вимірювання та оцінювання його непевності типу А. Ця процедура включає:

Виявлення та очищення вхідних даних від небажаних і невідомих априорі складових: періодичних, неперіодичних, у вигляді лінійного та нелінійного трендів тощо.

Автоматичне виявлення та визначення автокореляції результатів спостережень і її врахування.

Знаходження оптимальної моделі густини розподілу і визначення на цій основі оптимальних альтернативних до рекомендованих у GUM оцінок результату вимірювання і його непевності.

Запропоновані у роботі вирішення є складовою експертної системи, яка забезпечує поточний контроль параметрів процесів виробництва та експлуатації об'єктів різного призначення.

Отримані практичні результати у повній мірі підтвердили ефективність прийнятих рішень та опрацьованого програмного забезпечення.

Наступні роботи включають: автоматичне визначення on-line складових непевності типу В на основі евристичних моделей густини розподілу складових, а також формування бюджету непевності результату.

Список літератури

1. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, revised and corrected ISO, 1995.*
2. *Evaluation of measurement data -Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" - Propagation of distributions using a Monte Carlo method, OIML G 1-101, 2007.*
3. *Kirkup L. Frenkel B. An Introduction to the Uncertainty in Measurement Using the GUM, Cambridge Univ. Press, Physics, 2006.*

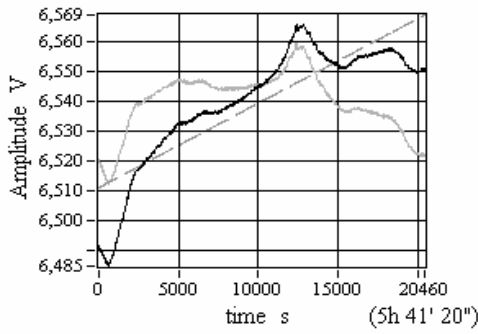


Рис. 5, а. Зареєстровані результати спостережень з наявністю лінійного тренду, та після очищення від нього; $\bar{x} = 6,54007 B$, $u_{A0} = 19,4 mB$

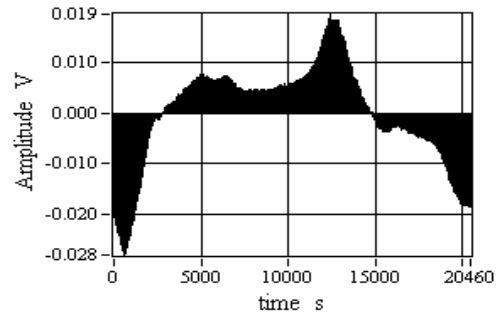


Рис. 5, b. Розкид результатів після очищення від лінійного тренду $u_{A1} = 9,99 mB$

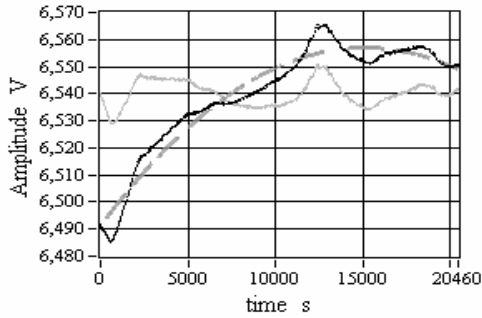


Рис. 5, c. Послідовність результатів після очищення від тренду другого порядку: $\bar{x} = 6,5401 B$

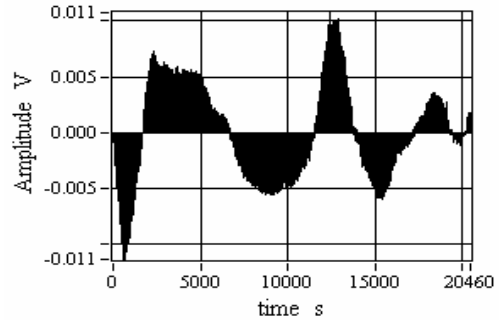


Рис. 5, d. Розкид результатів після очищення від тренду другого порядку $u_{A2} = 4,55 mB$

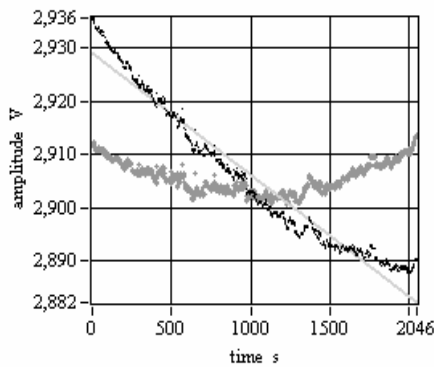


Рис. 6, а. Послідовність результатів спостережень, лінійний тренд та результат очищення від нього

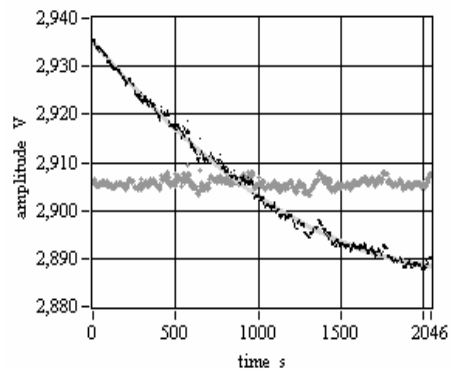


Рис. 6, b. Послідовність результатів спостережень, тренд 2-го порядку та результат очищення від нього

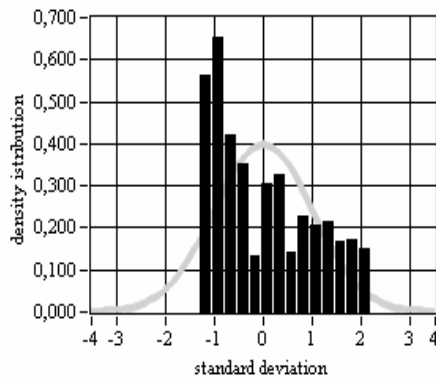


Рис. 6, c. Гістограма зареєстрованих результатів спостережень (значне відхилення від моделі нормального розподілу)

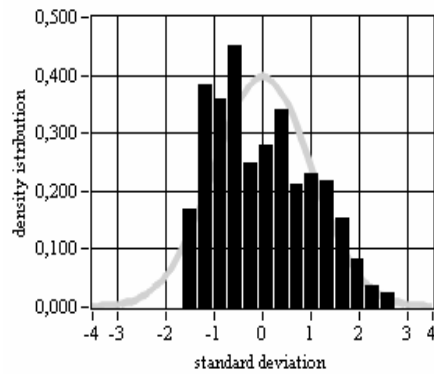


Рис. 6, d. Гістограма очищених від лінійного тренду результатів спостережень та її наближення нормальним розподілом

Зіставлення характеристик непевності результату
для різних порядків апроксимації тренду

Тип апроксимації тренду - функції $f(t)$	Часові залежність ($t = n \Delta T$)	Стандартна непевність ти- пу А u_A		$\frac{u_{A i}}{u_{A 0}}$	u_B	U_p $p = 0,95$	$\frac{u_A}{U_p}$
		$u_{A i}$	мВ				
-	Зареєстровані дані	$u_{A 0}$	19,4	100	4,0	38,8	50
Лінійний	$y_1(t) = -5,77 + 25,40t$	$u_{A 1}$	9,99	51,5		21,1	47
Многочлен 2-го порядку	$y_2(t) = 7,17 - 14,22t + 20,01t^2$	$u_{A 2}$	4,55	23,5		11,7	39
Многочлен 3-го порядку	$y_3(t) = 6,49 + 208,1 \cdot 10^{-6}t +$ $200,1 \cdot 10^{-9}t^2 + 56,24 \cdot 10^{-12}t^3$	$u_{A 3}$	4,40	22,7		11,5	38

4. Korczynski M.J., Hetman A. *New Approach to Presentation of Measurement Results in Virtual Instruments, chapter in Advanced Mathematical & Computational Tools // Metrology ISBN 981-238-904-0, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore, USA, London 2004. – P. 309-314.*

5. Pavese F., Ichim D. *SAODR: Sequence analysis for outlier data rejection // Measurement Science and Technology. – 2005. – Vol. 15. – P. 2047-2052.*

6. Bich W., Cox M.G., Harris P.M. *Evolution of the 'Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement' // Metrologia. – 2006. – Vol. 43. – P. 161-166.*

7. Dorozhovets M. *Some problems of calculating the errors and uncertainty of the measurement results in practice (in Polish). Elektrotechnika, z. 29. Folia Scientiarum Universitatis Technicae Resovientis (Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej), pp. 9-44, 2006.*

8. Dorozhovets M., Warsza Z.L. *Upgrading calculating methods of the uncertainty of measurements results in practice" (in Polish) // Przegląd Elektrotechniki. – 2007. – Vol. 1. – P. 1-13.*

9. Warsza Z.L., Dorozhovets M., Korczynski M.J. *Methods of upgrading the uncertainty of type A evaluation (1).*

Elimination the influence of unknown drift and harmonic components" // Proceedings of 15th IMEKO TC4 Symposium, Iasi Romania, 2007. – P. 193-198.

10. Dorozhovets M., Warsza Z. *Methods of upgrading the uncertainty of type A evaluation (2). Elimination of the influence of autocorrelation of observations and choosing the adequate distribution // Proceedings of 15th IMEKO TC4 Symposium, Iasi Romania, 2007. – P. 199-204.*

11. Dorozhovets M., Warsza Z.L., Korczyński M.J. *Upgrading of the type A method of uncertainty evaluation. Discovering and elimination the influence of drifts and oscillations in uniformly sampling measurement data (in Polish) // Pomiar Automatyka Kontrola. – 2007. – Vol. 53, nr 12. – S. 8-11. .*

12. Warsza Z.L., Korczyński M.J. *Elimination of unknown a priori systematic components of uniformly in time sampled data from type A uncertainties (in Polish) // Przegląd Elektrotechniczny. – 2008. – 05. –S. 109-114 .*

Поступила в редколлегию 21.04.2008

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

ОЧИСТКА РЯДОВ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ И ОЦЕНИВАНИЕ ИХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕДСТВАХ ИЗМЕРЕНИЯ

Корчинский М.И., Дорожовец М.М., Варша З.Л.

В статье представлено новое виртуальное средство измерения, позволяющее исследовать детерминированные и случайные составляющие исследуемого процесса вместе с оценением неопределенности результатов измерения. Виртуальное средство измерения в on-line режиме обрабатывает собранные равномерно во времени данные, он содержит расширенный набор программных процедур, которые анализируют идентифицированные периодические и непериодические компоненты, с целью их последующего исключения. В статье представлено несколько практических применений виртуального средства измерения с целью улучшения результата измерения.

Ключевые слова: виртуальные приборы, проработки результатов, оценивание неувренности.

RAW DATA CLEANING AND UNCERTAINTY EVALUATION USING VIRTUAL INSTRUMENTS

Korczynski M.J., Dorozhovets M.M., Warsza Z.L.

A new virtual instrument, which allows to investigate deterministic and random components of the process under examination jointly with the calculation on uncertainties is presented in the paper. The instrument handles on-line data collected, which are uniformly sampled in time. The instrument has a extensive software procedures, which analysis periodical and non-periodical components identified in collected data, and random effect. The several experiments of the application of the instrument were conducted and the results are presented in the paper.

Keywords: virtual devices, workings of results, evaluation of uncertainty.