

Вимірюйте
усе доступне вимірюванню
й робіть недоступне вимірюванню
доступним.

Галілео Галілей

ISSN 2307-2180

Метрологія



та прилади

№ 4(42), 2013

Науково-виробничий журнал

Журнал зареєстровано:
у Державній реєстраційній
службі України, свідоцтво серія
КВ № 20033-8933ПР від 17.05.2013;
у Вищій атестаційній комісії України,
Постанова Президії **ВАК**
№ 1-05/2 від 10.03.2010

Журнал **включено** до Міжнародної
наукометричної бази даних
Index Copernicus

Засновники:
Академія метрології України,
Харківський національний
університет радіоелектроніки,
ТОВ видавничо-комерційна
фірма «Фавор»

Видається з **2006** року
Передплатний індекс **92386**

Редакційна колегія:

Большаков В. Б., д. т. н., с. н. с.
Варша З., д. т. н., Польща
Величко О. М., д. т. н., проф.
Віткін Л. М., д. т. н., проф.
Володарський Є. Т., д. т. н., проф.
Гінзбург М. Д., д. т. н., проф.
Грищенко Т. Г., д. т. н., с. н. с.
Гудрун В., д. т. н., Німеччина
Домницький Р. А.
Жагора М. А., д. т. н., проф., Білорусь
Захаров І. П., д. т. н., проф.
Зенкін А. С., д. т. н., проф.
Коломієць Л. В., д. т. н., проф.
Крюков О. М., д. т. н., проф.
Кузьменко Ю. В.
Маловик К. М., к. т. н., доц.
Мачехін Ю. П., д. т. н., проф.
Назаренко Л. А., д. т. н., проф.
Неєжмаков П. І., к. т. н.
Петришин І. С., д. т. н., проф.
Радев Х., д. т. н., проф., Болгарія
Рожнов М. С., к. х. н., с. н. с.
Руженцев І. В., д. т. н., проф.
Скубіс Т., д. т. н., проф., Польща
Столярчук П. Г., д. т. н., проф.
Сурду М. М., д. т. н., проф.
Туз Ю. М., д. т. н., проф.
Хакімов О., д. т. н., проф., Узбекистан
Чалий В. П., к. т. н., с. н. с.
Черепков С. Т., к. т. н., доц.
Чуновкіна А. Г., д. т. н., Росія

Редакційна група:

Головний редактор Фісун В. П.
Відповідальний редактор Чепела В. М.
Науковий редактор — відповідальний
секретар Винокуров Л. І.
Дизайнер-верстальник Зайцев Ю. О.

Журнал **рекомендовано до друку**
вченою радою Харківського
національного університету
радіоелектроніки
(протокол №23 від 05.07.2013)

Видавець ВКФ «Фавор»

Адреса редакції:

61002, Харків, вул. Митрофановська, 40;
Тел./факс: (057) 752-00-69, 752-00-89
E-mail: mp@metrology.kharkov.ua
<http://www.metpriladi.com/>

Підписано до друку 05.09.2013.
Формат 60×84/8. Папір крейдований.
Ум. друк. арк. 8,43. Обл.-вид. арк. 7,13.
Друк офсетний. Тираж 450 прим.
Замовлення № 26

© «Метрологія та прилади», 2013

24 серпня наша країна урочисто відзначила своє
голове свято — День незалежності України.
22 роки тому український народ визначив для себе віками
омріяний стратегічний курс свого подальшого розвитку —
шлях свободи, шлях незалежної держави.

Нелегкими виявилися ці роки для українців.
Розбудовувати свою державність довелося у вкрай
тяжких економічних умовах. Проте народ з честю
пройшов через важкі випробування, і сьогодні незалежна
Україна посідає достойне місце серед країн світу.
Вагомим внеском у забезпечення технічної незалежності
України стало створення за минулі роки національної
еталонної бази, національних баз стандартів, технічних
регламентів, інших нормативних документів. Переважна
більшість закладених у них метрологічних параметрів
і характеристик перебуває на рівні світових.

На 23 році свого існування Україна стоїть перед
новим випробуванням — вона має обрати стратегічний
курс свого розвитку надалі. Цей вибір для народу
є найважливішим після набуття незалежності.
Українці віддають перевагу Європейському курсу, добре
усвідомлюючи, що перед ними постане ряд серйозних
викликів. Зокрема, метрологи і стандартизатори
України матимуть протягом короткого терміну
забезпечити гармонізацію понад 20 тисяч вітчизняних
стандартів з європейськими. Саме європейські вимоги
стимулюватимуть технічне переозброєння виробничих
підприємств, підвищення технічного рівня та якості
продукції, її конкурентоспроможності на європейських
і світових ринках, а відтак сприятимуть реалізації
основного призначення держави — підвищенню стандартів
життя та добробуту її громадян.

МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ

Кухарчук В., Граняк В.

Фазаамплітудний метод вимірювання вологості
гетерогенних дисперсних діелектриків 3Phase-Amplitude Method for Measuring Humidity Content
of Heterogeneous Disperse Dielectric

Чинков В., Мошаренков В.

Метод поверки електродинамических ваттметров
сигналами прямоугольной формы типа «Меандр» 9Method of Check of Electrodinamic Wattmeters
by the Signals of Rectangular form of Type «Meander»

ПОВІРКА ТА КАЛІБРУВАННЯ

Петришин І., Джочко П., Присяжнюк Т., Бас О.

Концепція побудови національного ланцюга калібрування
засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу 13Petrushin I., Dhochko P., Prisyajnyuk T., Bas O.
The Concept of National Calibration Chain
of the Measurement Volume and Gas Volume Flow Rate

ЄДНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ

Романенко І., Шевцов Ю., Човганська Г.

Проблеми контролю геометричних параметрів камер,
використовуваних для лабораторних досліджень
формених елементів крові та спинно-мозкової рідини 22Romanenko I., Shevtsov Yu., Chovganska G.
Problems of Geometrical Parameters Control
Chambers Used for Laboratory Researches
of Hemocytes and Spinal Cord Liquid

ТОЧНІСТЬ І ДОСТОВІРНІСТЬ

Пістун Є., Матіко Ф.

Підвищення точності обліку природного газу
побутовими лічильниками в умовах України 26Pistun Ye., Matiko F.
Improvement of Natural Gas Metering Accuracy
by Household Meters in the Conditions of Ukraine

МЕТРОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ

Гукасян А., Новіков В., Подостроєць К.

Реалізація способу метрологічного контролю
геодезичних ЗВТ 32Gukasyan A., Novikov V., Podostroets K.
Implementation of Method
Geodesic Metrological Control

РЕЄСТРАЦІЯ ТА КОНТРОЛЬ

Яцук В., Бугайцова П., Яцук Ю.

Засоби моніторингу та реєстрації якості послуг
із теплопостачання 38Yatsuk V., Bugajtsova P., Yatsuk Yu.
Means of Monitoring and Registration
of Heating Supply Services Quality

ПОХИБКИ ТА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Чернявський А., Моцак Т., Уткіна Л., Голованчикова Е.

Оцінювання невизначеності вимірювань
дійсної щільності твердого мінерального палива 45Cherniavskiy A., Motsak T., Utkin L., Holovanchikova E.
Uncertainty Evaluation of Measuring
of Hard Mineral Fuel Actual Closeness

ГЕОДЕЗИЧНА МЕТРОЛОГІЯ

Омельченко А., Вінніченко О., Купко В., Занімонський Є.

Застосування квадратичної інтерполяції у процесі
опрацювання даних у балістичному гравіметрі 50Omelchenko A., Vinnichenko O., Zanimonskiy Ye., Kupko V.
Application of Quadratic Interpolation in the Process
of Data Analysis in Ballistic Gravimeter

ВІЙСЬКОВА МЕТРОЛОГІЯ

Крюков О., Біленко О., Мудрик В., Доля Г.

Вимірювання швидкості руху металевого елемента
у каналі ствола на основі оптичного диференційного
доплерівського методу 56Kryukov A., Dolya G., Bilenko O., Mudrik V.
Measuring of throwing element velocity
in the bore Based on Optical Differential
Doppler Method

ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ

Шелудков В.

Устройства СВЧ
производства Омского предприятия «Эталон» 61Sheludkov V.
Microwave Devices
of Omsk Enterprise «Etalon» Make

ОБЛІК ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

Шаманов С., Глушкова О.

Упровадження автоматичних систем збору даних
із приладів обліку газу побутових споживачів 63Shamanov S., Glushkova O.
Inculcation of Automatic System for Data Collection
from Accounting Gas Devices of Domestic Consumers

МОДЕЛЮВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Скрябіна О.

Моделювання роботи імовірнісного вимірника
математичного сподівання й дисперсії 66Scriabina O.
Design of Work of Probabilistic Measuring Device
of Mathematical Hope and Dispersion

ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ

План набору слухачів на II півріччя 2013 року 72

TRAINING EXPERTS
State Enterprise for Year 2013

ІНФОРМАЦІЯ

..... 8, 44, 49, 60, 71

METHODS AND PROCEDURES

Kuharchuk V., Graniak V.

Phase-Amplitude Method for Measuring Humidity Content
of Heterogeneous Disperse Dielectric

Chinkov V., Mosharenkov V.

Method of Check of Electrodinamic Wattmeters
by the Signals of Rectangular form of Type «Meander»

VERIFICATION AND CALIBRATION

Petrushin I., Dhochko P., Prisyajnyuk T., Bas O.

The Concept of National Calibration Chain
of the Measurement Volume and Gas Volume Flow Rate

TRACEABILITY OF MEASUREMENT

Romanenko I., Shevtsov Yu., Chovganska G.

Problems of Geometrical Parameters Control
Chambers Used for Laboratory Researches
of Hemocytes and Spinal Cord Liquid

ACCURACY AND RELIABILITY

Pistun Ye., Matiko F.

Improvement of Natural Gas Metering Accuracy
by Household Meters in the Conditions of Ukraine

METROLOGICAL CONTROL

Gukasyan A., Novikov V., Podostroets K.

Implementation of Method
Geodesic Metrological Control

REGISTRATION AND CONTROL

Yatsuk V., Bugajtsova P., Yatsuk Yu.

Means of Monitoring and Registration
of Heating Supply Services Quality

ERRORS AND UNCERTAINTY

Cherniavskiy A., Motsak T., Utkin L., Holovanchikova E.

Uncertainty Evaluation of Measuring
of Hard Mineral Fuel Actual Closeness

GEODESIC METROLOGY

Omelchenko A., Vinnichenko O., Zanimonskiy Ye., Kupko V.

Application of Quadratic Interpolation in the Process
of Data Analysis in Ballistic Gravimeter

MILITARY METROLOGY

Kryukov A., Dolya G., Bilenko O., Mudrik V.

Measuring of throwing element velocity
in the bore Based on Optical Differential
Doppler Method

APPLICATION AND EXPLOITATION

Sheludkov V.

Microwave Devices
of Omsk Enterprise «Etalon» Make

ENERGY CONSUMPTION ACCOUNTING

Shamanov S., Glushkova O.

Inculcation of Automatic System for Data Collection
from Accounting Gas Devices of Domestic Consumers

MEASURING SYSTEMS MODELATION

Scriabina O.

Design of Work of Probabilistic Measuring Device
of Mathematical Hope and Dispersion

TRAINING EXPERTS

State Enterprise for Year 2013

INFORMATION

УДК 621.311.25

PHASE-AMPLITUDE METHOD FOR MEASURING HUMIDITY CONTENT OF HETEROGENETIC DISPERSE DIELECTRIC

V. Kuharchuk, Doctor of technical Sciences, Professor, Leader of department of the theoretical electrical engineering and electric measurements,

V. Graniak, PhD-student of department, Vinnytsya national technical university, Ukraine

В. Кухарчук, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань,

В. Граняк, аспірант кафедри, Вінницький національний технічний університет, Україна

The paper presets the phase-amplitude method for measuring humidity content of heterogenetic disperse dielectric with the developed mathematical model of nonsymmetrical band-pass humidity content sensor as well as the obtained validity check of the experimental results.

Запропоновано фазоамплітудний метод вимірювання вологості гетерогенних дисперсних діелектриків, розроблено математичну модель несиметричного смужкового сенсора вологості та здійснено перевірку її адекватності експериментальними дослідженнями.

INTRODUCTION

One of the main directions in increasing the competitiveness of an enterprise is an increase in quality of the production. This is extremely important for the manufacturing foodstuff including that referring to the heterogenetic disperse dielectric.

The most wide spread representative of the above stuff class manufactured by the processing industry in agricultural complex is butter. The quality of this product is greatly determined by its humidity content [1]. Since the increase in stability of its humidity content is significantly complicated due to the absence of the reliable means for humidity measuring with high accuracy and speed [2], it is necessary to develop a new approach to the solution of this scientific and applied task.

FORMULATION OF A PROBLEM

As is shown in [2], the use of humidity measuring methods based on electro-magnetic high frequency range emission is perspective in terms of humidity content measuring accuracy. The sensor, based on non symmetrical band-pass wave guide has a number of advantages, connected with the invariance to the informative environmental effect, simplicity in design, low cost and high reliability (fig.1).

Its extensive use is however restricted by the absence of the adequate mathematical model which would enable to unite the parameters of the output magnetic wave with



V. Kuharchuk



V. Graniak

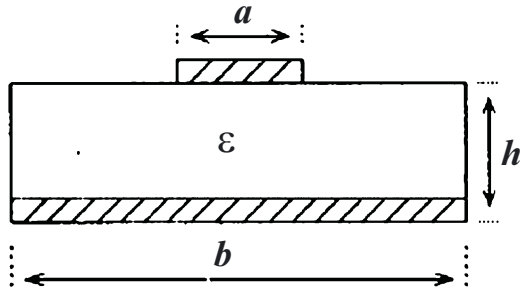


Fig. 1. Cross section of the non symmetrical band-pass wave guide

the humidity content of the under research item with pretty high accuracy. The above causes the necessity in the development of such mathematical model which would enable to receive the function of transformation of non symmetrical band-pass humidity sensor with further formulation of the indirect method for measuring humidity content of the heterogenetic disperse dielectric on its base.

SOLUTION APPROACHES

The distinctive feature of non symmetrical band-pass wave guide is the structure of the electromagnetic field of line, which is of complex character. Though in some simplification the electromagnetic wave, spread in such a waveguide, may be presented as the TEM-wave. At the same time, on the relatively low frequency (high-frequency range) the accepted simplification will not cause the significant error in the calculations [3]. Therefore, having entered the restriction on the frequency of information wave, we will consider the TEM-wave as the information wave while composing the mathematic model.

As is proved in [4], magnetic field lines are concentrated in the marginal zone of centre conductor. Therefore, considering the affiliation of the butterfat, water and dielectric, located between the central conductor and the ground connection, to one substance class with relative permeability, the value of which is close to unity, the magnetic parameters of such a wave may be considered as constant. In future calculations it will be expedient to consider the change in dialectical parameters of sensor components.

As is shown in [3, 4], the equivalent (efficient) permittivity of sensor with the sample may be determined by the following expression:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_d + \epsilon_s}{2} + \frac{\epsilon_d - \epsilon_s}{2H}, \quad (1)$$

where $H = \sqrt{1 + 10h/a}$, h — distance between the current-carrying (central) conductor and the earthed plate; a — width of the central conductor; ϵ_d — spe-

cific conductivity of the dielectric substrate; ϵ_s — sample specific conductivity.

Similarly, we can write an expression for the effective permittivity (ϵ_{efon}) in the absence of sample on the waveguide surface (presence of air with permittivity 1), which corresponds to the reference channel phase.

Then, the consideration of the connection between the permittivity and the phase speed of the electromagnetic wave allows to write the permittivity for both cases [3]:

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}, \quad (2)$$

$$V_{on} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{efon}}}, \quad (3)$$

where c — speed of electromagnetic wave propagation in vacuum.

Operating the values of phase velocity, the phase disparity between the reference and the information channel may be determined by the following expression:

$$\Delta\varphi = 2\pi f \cdot (L/V - L/V_{on}), \quad (4)$$

where f — frequency of the electromagnetic wave; L — waveguide length.

Substituting (2) and (3) in (4) we receive:

$$\Delta\varphi = 2\pi f L \cdot \left(\frac{\sqrt{\epsilon_{eff}}}{c} - \frac{\sqrt{\epsilon_{efon}}}{c} \right). \quad (5)$$

Using the above simplifications allows to write the expression for the capacity specific loss in the band nonsymmetrical waveguide [5].

$$\begin{aligned} \Delta P_{BT} &= \frac{2,23 \cdot 10^{-6} \cdot \epsilon_{eff} \cdot R \cdot E_0^2 \cdot h}{\mu} \times \\ &\times \ln \left(\frac{\left[\left(1 - 1,41 \sqrt{\Delta/d} \right) \cdot r_A - 1 \right] \cdot \left[\left(1 - 1,41 \sqrt{\Delta/d} \right) \cdot r_B - 1 \right]}{r_A \cdot r_B \cdot k^2 / 4} \right) = \\ &= C_1 \cdot \ln \left(C_2 / \left(k^2 / 4 \right) \right), \end{aligned} \quad (6)$$

where R — sheet resistance of the band waveguide material; μ — relative permittivity of the environment; E_0 — tension of the homogeneous electric field in nonsymmetrical band waveguide; r_A, r_B — roots of some transcendental equation (7); k — coefficient, which considers the thickness of the current-carrying (central) conductor (with some valid approximation may be calculated as in (8)).

$$r - \ln(r) - 1 - \frac{\pi \cdot a}{2 \cdot h} - \left(\frac{2\Delta}{h} + \sqrt{\frac{2\Delta}{h}} \right) \cdot (r - 1) = 0, \quad (7)$$

where Δ — thickness of the current-carrying (central) conductor.

$$k = 2\sqrt{2 \cdot \Delta / h}. \quad (8)$$

The summation losses for the band nonsymmetrical waveguide with the length L will correspondingly make up:

$$P_{\text{вт}} = C_1 \cdot \ln(C_2 h / 2\Delta) L. \quad (9)$$

The known formula [5] allows to calculate the capacity, which passes through the cross section of the current-carrying (central) conductor, located on distance, equal to the length of the information wave:

$$\Delta W_{\text{ип}} = 8,44 \cdot 10^{-4} \sqrt{\epsilon_{\text{eff}} / \mu} \cdot E_0^2 \cdot h^2 \cdot \ln(r_B / r_A) = D \cdot h^2. \quad (10)$$

Then the capacity, received on the output of the band nonsymmetrical waveguide may be calculated:

$$W_{\text{ип}} = D \cdot d^2 \lambda_n / \lambda. \quad (11)$$

where λ_n — length of the electromagnetic wave, which is spread in the waveguide.

The length of the electromagnetic wave, spread in the waveguide, may be written as follows according to the known mathematical dependence [3 — 5]:

$$\lambda_n = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}, \quad (12)$$

where λ_0 — length of the electromagnetic wave, spread in the waveguide in vacuum.

Considering (9), (11) and (12) and performing the mathematical transformations, allows to write the expression for the electromagnetic wave power attenuation coefficient band nonsymmetrical waveguide:

$$\beta = 1 + \frac{2,23 \cdot 10^{-2} \cdot \epsilon_{\text{eff}} \cdot R \cdot \ln(C_2 h / 2\Delta) \cdot L^2}{8,44 \cdot h \cdot \ln(r_B / r_A) \cdot \lambda_0 \sqrt{\mu}}. \quad (13)$$

As follows from (5) and (13), since the rest of parameters for the specific waveguide is constant, the phase difference between the reference and the information wave as well as the amplitude of the information wave depends functionally only on the relative sample permittivity. Considering the absence of any chemical connections between the butterfat and the distributed humidity in the butter [6], the butter may be considered as the specific type of emulsion. In such a case, the humidity impregnation presents the insoluble dispersed phase. So, the gain in the relative permittivity relative to the absolute dry butterfat on condition of the relatively small bulk humidity may be calculated by the expression [7]:

$$\Delta\epsilon = \frac{v \cdot (\epsilon_B - \epsilon_{\text{ж}}) \cdot (\epsilon_{\text{ж}} + 2)}{\epsilon_B + 2 - v \cdot (\epsilon_B - \epsilon_{\text{ж}})}, \quad (14)$$

where ϵ_B — relative water permittivity; $\epsilon_{\text{ж}}$ — relative butterfat permittivity; v — bulk humidity in the sample.

The bulk water particle shall be found by the known correlation [7]:

$$v = \frac{V_B}{V_B + V_{\text{ж}}}, \quad (15)$$

where V_B , $V_{\text{ж}}$ — volume, taken by water and butterfat correspondingly;

Since the content of humidity in the sample is determined by the known correlation between the masses of humidity and butterfat, which, in turn, may be expressed through the density and volume of the fractions, the humidity of the under control object may be determined from the following functional dependence:

$$W = \frac{V_B \cdot \rho_B}{V_B \cdot \rho_B + V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}}} \cdot 100 \%, \quad (16)$$

where ρ_B , $\rho_{\text{ж}}$ — density of water and butterfat correspondingly.

Substituting (16) in (15), receive the functional dependence, which unambiguously connects the bulk water particle with the sample humidity:

$$v = \frac{\rho_B \cdot W}{100 \cdot \rho_B - W \cdot (\rho_B - \rho_{\text{ж}})}. \quad (17)$$

Substituting (17) in (14) and performing simple mathematical transformations, receive:

$$\Delta\epsilon = \frac{W \cdot (\rho_B \epsilon_B \epsilon_{\text{ж}} + 2\rho_B \epsilon_B - \rho_B \epsilon_{\text{ж}}^2 - 2\rho_B \epsilon_{\text{ж}})}{100\rho_B \epsilon_B + 200\rho_B - W \cdot (2\rho_B \epsilon_B + 2\rho_B - \rho_{\text{ж}} \epsilon_B - \rho_B \epsilon_{\text{ж}} - 2\rho_{\text{ж}})} = \frac{WF_1}{F_3 - W \cdot F_2}. \quad (18)$$

Then, writing the relative permittivity of the sample as the sum of the relative permittivity of butterfat and calculated according to (18) gain in the relative permittivity, stipulated for by the availability of humidity in the sample, we receive:

$$\epsilon_3 = \epsilon_{\text{ж}} + \Delta\epsilon. \quad (19)$$

Substituting (18) and (19) into (5), introducing the change (20) — (24), and having made some mathematical transformations we obtain (25).

$$A_1 = 4\pi^2 f^2 L^2 \cdot \left[H(\epsilon_{\text{л}} + \epsilon_{\text{ж}}) + (\epsilon_{\text{л}} - \epsilon_{\text{ж}}) F_3 \right]. \quad (20)$$

$$A_2 = -4\pi^2 f^2 L^2 \left\{ \left[H(\epsilon_{\text{л}} + \epsilon_{\text{ж}}) + (\epsilon_{\text{л}} - \epsilon_{\text{ж}}) \right] \times \right. \\ \left. \times F_2 - HF_1 + \rho_B \epsilon_{\text{ж}} (\epsilon_B + 1 - \epsilon_{\text{ж}} H) \right\}. \quad (21)$$

$$A_3 = \frac{2\pi f L}{c} \cdot \sqrt{\frac{(\epsilon_{\text{л}} + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_{\text{л}} - 1)}{2H}}, \quad (22)$$

$$A_4 = 2c^2 H \cdot F_3, \quad (23)$$

$$A_5 = 2c^2 H F_2, \quad (24)$$

$$\Delta\phi = \sqrt{\frac{A_1}{A_4 - W \cdot A_5} + \frac{WA_2}{A_4 - W \cdot A_5}} - A_3. \quad (25)$$

Considering, that using metals which are characterized by high conductivity as the material for current-carrying (central) conductor, allows to calculate the sheet resistance of the band waveguide material by the expression [5]:

$$R = \sqrt{\frac{\pi \cdot f \cdot \mu}{\gamma}}, \quad (26)$$

where f — wave frequency, spread in the band non-symmetrical waveguide; γ — admittance of the current-carrying (central) conductor:

$$\gamma = \Delta \cdot a / L \cdot \rho_{\text{mid}}, \quad (27)$$

where ρ_{mid} — specific resistance of the material in current-carrying (central) conductor.

Considering (18), (19), (26), (27), and entering the change (28):

$$A = \frac{2,23 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot f^3 \cdot L^5 \cdot \rho_{\text{mid}}}{\Delta \cdot a}} \cdot \ln(C_2 h / 2\Delta)}{8,44 \cdot d \cdot \ln\left(\frac{r_B}{r_A}\right) \cdot c}. \quad (28)$$

The expression (13) may be written as:

$$\beta = 1 + A \cdot \left(\frac{\epsilon_d + \Delta\epsilon}{2\mu} + \frac{\epsilon_d - \Delta\epsilon}{2\mu H} \right). \quad (29)$$

Since the capacity of the electromagnetic wave may be calculated by the known expression [8],

$$P = I \cdot U \cdot \cos(\varphi), \quad (30)$$

where I — current active value; U — voltage active value; $\cos(\varphi)$ — capacity coefficient, the following equation shall be valid:

$$I_{\text{BX}} \cdot U_{\text{BX}} \cdot \cos(\varphi_{\text{BX}}) = \beta \cdot I_{\text{BHX}} \cdot U_{\text{BHX}} \cdot \cos(\varphi_{\text{BHX}}), \quad (31)$$

where $I_{\text{BX}}, I_{\text{BHX}}$ — current active value on the input and the output of the band nonsymmetrical waveguide correspondingly; $U_{\text{BX}}, U_{\text{BHX}}$ — voltage active value on the input and the output of the band nonsymmetrical waveguide correspondingly; $\cos(\varphi_{\text{BX}}), \cos(\varphi_{\text{BHX}})$ — capacity coefficient on the input and the output of the band nonsymmetrical waveguide correspondingly.

According with the classical approaches, the transmission line with the lumped parameters, which is the band waveguide, may be presented as the simplified electric circuit, presented on fig. 2 [9].

For the HF range the inequalities are valid [4]:

$$X_c \ll X_L, \quad G \gg R, \quad (32)$$

Since R and L characterize losses and accumulation of energy in current-carrying (central) conductor [9, 10], parameters of which depend on sample humidity, it is possible to write with the accuracy which

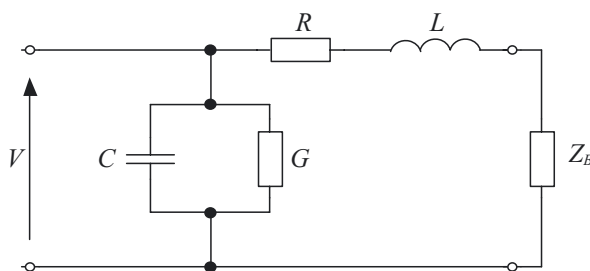


Fig. 2. Electric equivalent circuit of the nonsymmetrical waveguide

does not enter the significant error on the measuring results:

$$U_{\text{BX}} = \beta \cdot U_{\text{BHX}}. \quad (33)$$

Then, substituting (29) in (33) and performing some mathematical transformations, receive:

$$U_{\text{BHX}} = \frac{U_{\text{BX}}}{1 + A \cdot \left(\frac{\epsilon_d + \Delta\epsilon}{2\mu} + \frac{\epsilon_d - \Delta\epsilon}{2\mu H} \right)}. \quad (34)$$

Introduce the following changes:

$$B_1 = U_{\text{BX}} \cdot F_3 \cdot 2\mu H, \quad (35)$$

$$B_2 = U_{\text{BX}} \cdot F_2 \cdot 2\mu H, \quad (36)$$

$$B_3 = F_3 \cdot 2\mu H. \quad (37)$$

$$B_4 = \left(\frac{2,23 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{L^5 \cdot \rho_{\text{mid}} \cdot \pi \cdot f^3 \cdot \ln(C_2 h / 2\Delta)}}{8,44 \cdot h \cdot \ln\left(\frac{r_B}{r_A}\right) \cdot c \cdot \sqrt{\Delta \cdot a}} \right) \times \left(\frac{\epsilon_d}{2\mu} + \frac{\epsilon_d}{2\mu H} \right) \cdot F_1 \cdot (H-1) + (F_2) \cdot 2\mu H, \quad (38)$$

Substituting (35) — (38) into (34), we receive:

$$U_{\text{BHX}} = \frac{B_1 - B_2 \cdot W}{B_3 - B_4 \cdot W}. \quad (39)$$

Expressions (25) and (39), stipulating for the single-valued connection between the sample humidity and the phase difference between the reference and information wave, are the transformation equations of the band humidity sensor.

Having received the mathematical model of the band nonsymmetrical humidity sensor, we may suggest the phase-amplitude method for humidity measuring.

This method implies the pass of high frequency electromagnetic harmonious signal with the known frequency and amplitude through the band nonsymmetrical sensor, on the surface of which there is the under research sample, the area of which is proportionate to the sensor dimensions and the thickness is not less than $3h$ (which follows from the peculiarities of the electromagnetic wave, spread in the band nonsymmetrical waveguide [4]), with further measuring phase angle and signal amplitude on the sensor output.

To prove the adequacy of this mathematical model, there had been carried out a number of experimental researches using the band nonsymmetrical waveguide with the laminated bakelite insulation substrate with

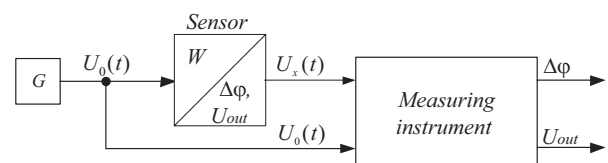


Fig. 3. Structure chart of the laboratory plant

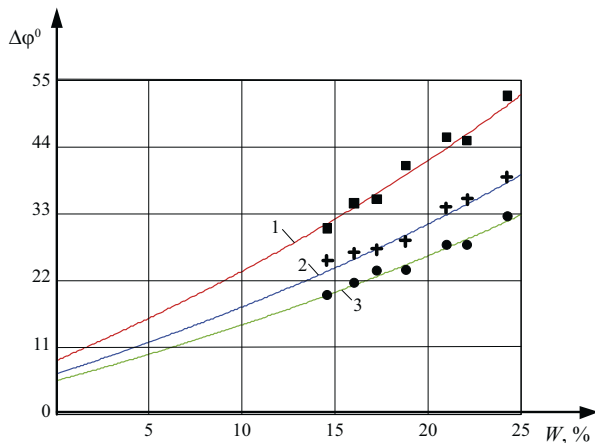


Fig. 4. Theoretical and experimental static behavior of a sensor for transferring the humidity into the phase difference: 1 — information wave with frequency of 400 MHz; 2 — information wave with frequency of 300 MHz; 3 — information wave with frequency of 250 MHz.

the length of 864 mm, thickness of 2 mm and width of the central conductor of 2,5 mm. During the research of the phase difference and the output voltage there had been used: measurer of the phase difference «ФК2 — 12», which allows to measure the phase shift and the amplitude of the information wave, as well as high-frequency generator «Г4 — 107». Plant structure chart, used in the research, is presented on fig. 3.

Simulation results of the functional dependences (25) and (39), with the simultaneous presentation of the experimental data are presented on fig. 4, 5 correspondingly.

As is seen from the comparison of the experimental and theoretical values, on condition of the above restrictions, the relative error of the model does not exceed 2 %, and sensor response increases monotonously with the increase in frequency of the information wave during the humidity transformation into the phase difference (fig. 4) and monotonously decreases during the humidity transformation into the amplitude of the output signal (fig. 5).

CONCLUSIONS

There had been determined the functional dependence between the humidity and phase difference and the humidity and the amplitude of the input voltage in the nonsymmetrical band sensor, which, unlike those

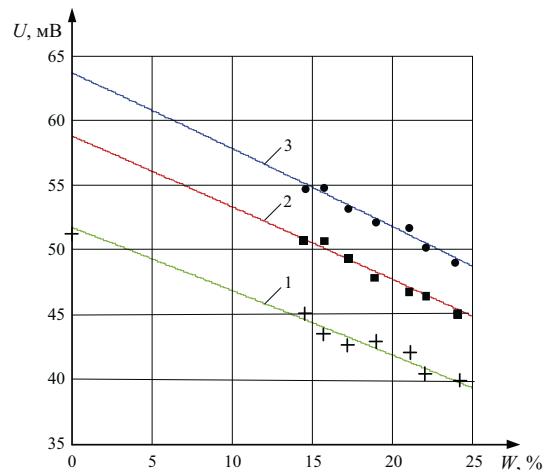


Fig. 5. Theoretical and experimental static behavior of a sensor for transferring the humidity into the voltage value: 1 — information wave with frequency of 400 MHz; 2 — information wave with frequency of 300 MHz; 3 — information wave with frequency of 250 MHz

known, is characterized by higher performance and invariance to non-information parameters of an environment.


There had been suggested the phase-amplitude method for measuring humidity of heterogeneous disperse dielectrics, which implies for passing the high frequency electromagnetic harmonious signal with the known frequency and amplitude through the band nonsymmetrical sensor, on the surface of which there is the under research sample, which area is proportionate to the dimensions of the sensor and the thickness is not less than $3h$ (which follows from the peculiarities of the electromagnetic wave, spread in the band nonsymmetrical waveguide [4]), with further measuring phase angle and signal amplitude on the sensor output.

There had been proved experimentally the adequacy of the mathematical model of the humidity sensor on condition of imposing restrictions on humidity content and frequency of information wave. The relative error does not exceed 2%.

The sensitivity of the sensor had been determined to increase significantly with the increase in frequency of information wave during the humidity transformation into the phase difference (fig. 4) and monotonously decreases during the humidity transformation into the amplitude of the output signal (fig. 5).

REFERENCES

1. Panfilov V.A. Machines and apparatuses for food manufacturing / V.A.Panfilov // M.: Vysshaja shkola. — 2001. — 703 p.
2. Kuharchuk V.V. Research of parameters of phase damping and phase shift of electromagnetic waves depending on the environment humidity of their distribution /

- V.V. Kuharchuk, V.V. Bogachuk, Yu.O.Dmitriev, V.F. Graniak // Visnyk VPI. — 2011. — №4. — P.103 — 106.
3. Zaizev V.V. Electrostatic simulation of slab lines / V.V. Zaizev, V.I. Zanin, V.M. Treschov— Samara: Univers-grup, 2005. — 52 p.
4. Kapuro P.A. Guide systems in telecommunication / P.A. Kapuro, V.N. Mischenko— Minsk, 2007. — 172 p.
5. Golubev V. I. Degigninig and calculation of stripe-line devices. Textbook for institutions for higher education / V. I. Golubev, I. S. Kovalev, E. G. Kuznetsov and othe — Moskva: Sovetskoe radio, 1974. — 296 p.
6. Berliner M.A. Electric methods and devices for humidity measuring and regulation /M. A. Berliner — M.: Energiia, 1960. — 68 p.
7. Vegeera Zh. G. Effects of structural organization of colloidal particles and microparticles of disperse non magnetic stuff in magnetic liquid with its interaction with electric and magnetic fields / Zh. G. Vegeera // PhD thesis. — Stavropol, 2004. — 197 p.
8. Forkun Ya.B. Theoretical principles of electric engineering. lectures/ Ya.B. Forkun, S. M. Yurchenko — X.: XNHAMG, 2009. — 78 p.
9. Fusko V. Microwave networks. Analysis and automated design. Translated form English. / V. Fusko— M.: Radio a I sviaz, 1990. — 288 p.
10. Kuharchuk V.V. High frequency method and digital means for measuring humidity of heterogeneous disperse dielectrics / V.V. Kuharchuk, V.V. Bogachuk, V.F. Graniak // Naukovi pratsi VNTU. — 2012. — №1. — Access mode: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/vntu/2012_1/2012-1.files/uk/12vkvkdd_ua.pdf 

ЗАСІДАННЯ ТК ISO/TC 193 «ПРИРОДНИЙ ГАЗ»

Чергове засідання Технічного комітету (ТК) ISO/TC 193 «Природний газ» відбувалося у м. Дельфт (Нідерланди) протягом 25—29 червня. У ньому взяли участь представники 12 країн: Бельгії, Великобританії, Італії, Казахстану, Китаю, Нідерландів, Німеччини, Норвегії, США, Угорщини, України, Франції.

На засіданнях робочих груп розглянуто проекти міжнародних стандартів, інших документів, які розробляє ISO/TC 193. Активно обговорювалися проблеми, пов'язані з переглядом чинних стандартів щодо хроматографічного аналізу природного газу (ISO 6974, частини 3 — 6) та розроблянням нових його частин, зокрема, щодо застосування мікрохроматографів. Нові версії першої та другої частин (ISO 6974-1, 2), у яких викладено положення загальні та стосовно оцінювання невизначеності результатів, видано у 2012 році.

Підготовлено наступну версію проекту стандарту ISO 6976 (ISO/CD 6976), присвяченого обчисленню теплоти згоряння, густини та числа Воббе природного газу за його компонентним складом. У новому документі змінено алгоритм обчислення нижчої теплоти згоряння, уведено розділ «Невизначеність результатів обчислення», уточнено значення фізичних констант та властивостей чистих газів, які використовують для обчислення властивостей природного газу. Триває розробляння технічного звіту ISO/TR 29922, який міститиме допоміжну інформацію щодо обчислення густини та теплоти згоряння природного газу.


Завершується робота над новим стандартом ISO 20765-2 «Природний газ. Обчислення термодинамічних властивостей. Частина 2. Властивості в однофазному стані (газ, рідина та надкритичний стан) у розширеному діапазоні параметрів». Заплановано розроблення третьої частини, присвяченої власти-

востям природного газу у двофазному стані.

Підготовлено остаточні версії нових видань стандарту ISO 13734 «Природний газ. Органічні сполуки, застосовувані як одоранти. Вимоги та методи випробувань» та технічного звіту ISO/TR 16922 «Природний газ. Одоризація». Розпочато роботу над новим документом ISO 18222 щодо встановлення залежності між вмістом одоранту у газо-повітряній суміші та ступенем одоризації природного газу, який визначають органолептичним методом.

Прийнято рішення щодо необхідності внесення змін до нещодавно виданого стандарту ISO 15112 «Природний газ. Визначення енергії», пов'язаних із новими правилами та принципами організації європейського ринку природного газу.

Необхідність визначення вмісту водню та кисню у змішаному газі, зумовлює заміну великої кількості хроматографів у системах обліку газу. У Німеччині відповідне рішення уже прийнято. Уведення у газові мережі біогазу також змушує шукати нові підходи до одоризації, оскільки біогаз може мати достатньо сильний запах, який не ідентифікується як сигнал стосовно витікання газу та загрози вибуху. Розглянуто пропозиції щодо оновлення та розроблення нових документів з урахуванням особливостей біогазу.

Представники України брали активну участь в обговоренні документів. Усі зауваження та пропозиції української сторони до проектів стандартів прийнято. 

М. Рожнов, голова ТК 122 «Аналіз газів, рідких та твердих речовин», кандидат хімічних наук, директор науково-виробничого інституту Метхіменерготест,

О. Левбарг, начальник лабораторії, ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ



В. Чинков, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и стандартизации,

В. Мошаренков, старший преподаватель кафедры,

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба

Предлагается и исследуется метод поверки (и калибровки) электро- (и ферро-) динамических ваттметров сигналами прямоугольной формы типа «меандр». Приведена оценка методической погрешности поверки.

The method of check (and calibrations) of elektro- (and ferro-) dynamic wattmeters by the signals of rectangular form of type «meander» is offered and investigated. An estimation over of methodical error of check is brought.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что поверка (и калибровка) электро- (и ферро-) динамических ваттметров, как и других электроизмерительных приборов переменного тока, традиционно осуществляется поверочными сигналами синусоидальной формы, задаваемыми (воспроизводимыми, формируемыми) с высокой точностью [1].

Суть предлагаемого метода состоит в поверке электродинамических ваттметров сигналами наиболее простой — прямоугольной формы типа «меандр», параметры которых (амплитуда, частота и фаза) могут быть заданы с гораздо более высокой точностью, чем сигналы синусоидальной формы, и реализованы значительно проще аппаратно с использованием современной цифровой микросхемотехники [2]. Но, пожалуй, самым существенным фактором в пользу сигнала типа «меандр» служит то, что такой сигнал является значительно более адекватным реальным периодическим измерительным сигналам по спектральному составу, чем «чисто» синусоидальный сигнал, который в принципе сформировать невозможно. Более того, в связи широким внедрением в практику измерений высокоточных цифровых генераторов, особенно за рубежом [2, 3], требование о синусоидальной форме поверочных сигналов вообще отпадает, поскольку выходные сигналы цифровых генераторов имеют кусочно-ступенчатую форму, («ступенчатая» синусоида) с заранее определенным спектральным составом [4].

Впервые идея поверки измерительных приборов переменного тока сигналами прямоугольной формы высказана в статье [5], а более глубокие исследования этого метода, результаты которых подтвердили его новизну и эффективность, приведены в статьях [6-8].



В. Чинков



В. Мошаренков

Предлагаемая статья имеет прикладной характер. В ней рассматривается метод поверки (и калибровки) электро- (и ферро-) динамических ваттметров сигналами прямоугольной формы типа «меандр».

Покажем, что предлагаемый метод поверки электродинамических ваттметров не только возможен, но и может обеспечить повышение точности поверки.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Приведем эквивалентные электрические схемы двух измерительных цепей ваттметра: измерительной цепи тока или последовательной цепи (рис. 1,а) и измерительной цепи напряжения или параллельной цепи (рис. 1,б).

На этих рисунках обозначены:

R_1, L_1 — активные сопротивление и индуктивность токовой цепи;

R_2, L_2 — активные сопротивление и индуктивность цепи напряжения;

C_k, R_k — схема компенсации частотных погрешностей прибора.

У электродинамических ваттметров известных типов предусмотрена компенсация индуктивности только в цепи напряжения. В цепь напряжения может включаться балансное сопротивление.

Опуская несложные преобразования, запишем окончательные выражения для комплексов полных сопротивлений измерительных цепей ваттметра:

$$\underline{Z}_1 = R_1(1 + \varepsilon_1 q); \quad (1)$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 \left(1 + \varepsilon_2 q \frac{q - \alpha}{1 + \alpha q} \right). \quad (2)$$

В этих выражениях для сокращения дальнейших записей введены следующие условные обозначения:

$$\varepsilon_1 = \frac{\omega_0 L_1}{R_1}; \quad \varepsilon_2 = \alpha \xi; \quad \alpha = R_k C_k \omega_0; \quad \xi = \frac{\omega_0 L_2}{R_2}; \quad q = j\omega/\omega_0,$$

где ω — круговая частота поверочного сигнала, ω_0 — рабочая круговая частота ваттметра.

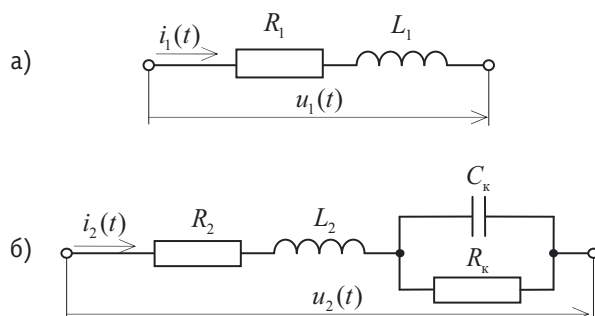


Рис. 1. Измерительные цепи электродинамического ваттметра:
а) токовая (последовательная);
б) напряжения (параллельная).

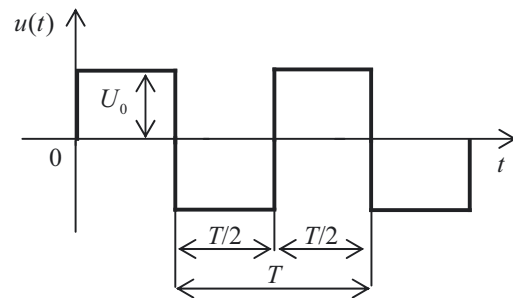


Рис. 2. Поверочный сигнал прямоугольной формы типа «меандр»

Пусть напряжения $u_1(t)$ и $u_2(t)$, подаваемые при поверке на последовательную и параллельную цепи ваттметра от эталонного генератора (калибратора), имеют форму «меандра» амплитудой U_0 и периодом T (рис. 2).

Тогда среднее квадратичное значение (СКЗ) их гармоник в соответствии с разложением Фурье описывается выражением [9]:

$$U_{(2l+1)} = \frac{4U_0}{\pi(2l+1)}, \quad (3)$$

где $(2l+1)$ — номер гармонической составляющей сигнала типа «меандр», $l = 0, \infty$.

Пусть также напряжение $u_1(t)$ запаздывает относительно напряжения $u_2(t)$ на время τ и отличается по амплитуде в k раз (k может быть равно единице). Принимая первую гармонику напряжения $u_1(t)$ равной U_0 , для комплекса СКЗ \dot{U}_1 имеем:

$$\dot{U}_1 = kU_0 e^{-j\omega_0 \tau} = kU_0 e^{-jq\psi}, \quad (4)$$

где $\psi = \omega_0 \tau$ — фазовый сдвиг между первыми гармониками сигналов $u_1(t)$ и $u_2(t)$ на частоте ω_0 .

Показания ваттметра определяются средним за период T входимых сигналов от произведения токов $i_1(t)$ и $i_2(t)$ в его измерительных цепях:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i_1(t) i_2(t) dt,$$

или равноценным ему выражением

$$P = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \dot{I}_{1(2l+1)}^* \dot{I}_{2(2l+1)}, \quad (5)$$

где $*$ — означает сопряженный комплекс СКЗ.

Записав комплексы СКЗ токов $\dot{I}_{1(2l+1)}$ и $\dot{I}_{2(2l+1)}$ с учетом соотношений (1) — (4) и подставив их в формулу (5), после преобразования получим

$$P = \frac{4kU_0^2}{\pi^2 R_1 R_2} \sum_{l=-\infty}^{\infty} \frac{e^{j(2l+1)\psi}}{(2l+1)^2} R(q). \quad (6)$$

Здесь $R(q)$ — дробно-рациональная функция, характеризующая реактивное свойство измерительных цепей ваттметра:

$$R(q) = \frac{1}{(1 - \varepsilon_1 q)[1 + \varepsilon_2 \xi(q)]}, \quad (7)$$

где $\xi(q) = \frac{q - \alpha}{1 + \alpha q}$.

Находим полюса этой функции [10]:

$$\begin{aligned} q_1 &= -\frac{1}{2\xi} \left[1 - \varepsilon_2 + \sqrt{(1 - \varepsilon_2)^2} \right]; \\ q_2 &= -\frac{2}{\alpha} \left[\frac{1}{1 - \varepsilon_2 + \sqrt{((1 - \varepsilon_2)^2 - 4\xi/\alpha)}} \right]; \\ q_3 &= 1/\varepsilon_1. \end{aligned} \quad (8)$$

Тогда для вычетов A_n функции $R(q)$ получим:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1 + \alpha q_1}{\varepsilon_2 (q_1 - q_2) (1 - \varepsilon_1 q_1)}; \\ A_2 &= \frac{1 + \alpha q_2}{\varepsilon_2 (q_1 - q_2) (1 - \varepsilon_1 q_2)}; \\ A_3 &= -\frac{\alpha + \varepsilon_1}{\varepsilon_2 (1 - \varepsilon_1 q_1) (1 - \varepsilon_1 q_2)}. \end{aligned} \quad (9)$$

После ряда преобразований с учетом формул (8) и (9) выражение (6) для показаний ваттметра приобретает вид:

$$P = \frac{kU_0^2}{R_1 R_2} \left\{ \left(1 - \frac{2\psi}{\pi} \right) + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^3 \frac{A_n}{q_n^2} \left[1 - \frac{e^{(\psi - \pi/2)q_n}}{\operatorname{ch} \pi q_n / 2} \right] \right\}, \quad (10)$$

где ψ изменяется в пределах $0 < \psi < \pi$.

Формула (10) представляет собой уравнение шкалы ваттметра при входном сигнале типа «меандр».

Проведем теперь анализ методической погрешности при использовании уравнения (10). Для этого выделим в ней составляющую, не зависящую от реактивных элементов, и обозначим ее

$$P_0(\psi) = \frac{kU_0^2}{R_1 R_2} \left(1 - \frac{2}{\pi} |\psi| \right), \quad (11)$$

где $\pi < \psi < \pi$.

Равенство (11) может быть использовано в качестве градуировочной характеристики ваттметра, причем значения коэффициента мощности $\cos \varphi$, регулируемые при поверке, связано со значением ψ соотношением:

$$\cos \varphi = 1 - \frac{2}{\pi} |\psi|,$$

т.е. значения функций в правой и левой частях этого соотношения совпадают при $\varphi = \psi = 0, \pm \pi/2, \pm \pi$.

При принятом условии (11) второй член в фигурных скобках выражения (10) представляет методическую погрешность в задании коэффициента мощности $\cos \varphi$, обусловленную реактивными элементами измерительных цепей ваттметра. Исследуем эту

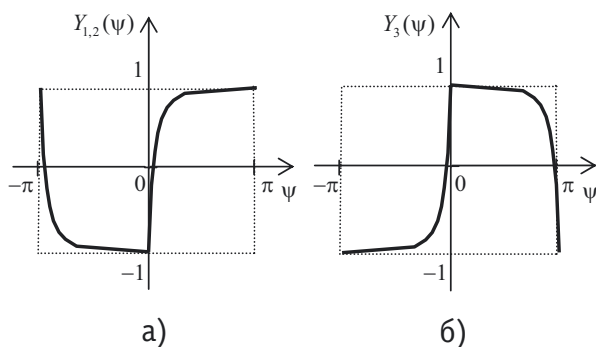


Рис. 3. Графики:

а) функции $Y_{1,2}(\psi)$; б) функции $Y_3(\psi)$

погрешность, записав ее в виде:

$$\Delta \cos \varphi = \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^3 \frac{A_n}{q_n^2} Y_n(\psi) \quad \text{при } -\pi < \psi < \pi, \quad (12)$$

$$\text{где } Y_n(\psi) = \begin{cases} 1 - \frac{e^{(\psi - \pi/2)q_n}}{\operatorname{ch} \pi q_n / 2} & \text{при } 0 \leq \psi < \pi, \\ -1 + \frac{e^{(\psi + \pi/2)q_n}}{\operatorname{ch} \pi q_n / 2} & \text{при } -\pi \leq \psi < 0. \end{cases} \quad (13)$$

Анализ выражения (13) показывает, что функции $Y_n(\psi)$ отличны от ± 1 только в малой области вблизи точек $\psi = 0$ и $\psi = \pm \pi$ (рис. 3).

Ширина этой переходной области для каждой функции примерно равна $\Delta \psi \approx |1/q_n|$. Вне этой переходной области

$$Y_n(\psi) = \operatorname{sign} \psi = \begin{cases} 1 & \text{при } \psi > 0, \\ -1 & \text{при } \psi < 0. \end{cases}$$

Тогда выражение (12) принимает вид

$$\Delta \cos \varphi = \frac{2}{\pi} \operatorname{sign} \psi \sum_{n=1}^3 \frac{A_n}{q_n^2}. \quad (14)$$

Окончательно данное равенство запишем в виде:

$$\Delta \cos \varphi = \frac{\pi}{2} (\varepsilon_1 + \alpha^2 \xi) \operatorname{sign} \psi.$$

Из анализа выражения (14) следует, что, если вычеты A_1 и A_2 показывают разные знаки, то в переходной области $\Delta \psi$ возможны максимумы и минимумы функции $\Delta \cos \varphi$, которые для оценки методической погрешности представляют наибольший интерес.

Найдем экстремальные значения функции $\Delta \cos \varphi$. Положение максимума находим из решения уравнения

$$\frac{(\Delta \cos \varphi)}{d\psi} = 0.$$

Из анализа решения данного уравнения по всем полюсам q_n получим формулу для оценки предельного значения абсолютной методической погрешности, обусловленной наличием реактивных элементов в измерительных цепях ваттметра:

$$|\Delta \cos \varphi|_{\max} \leq \frac{2}{\pi} (\varepsilon_1 + \alpha^2 \xi + 2\xi \sqrt{1 + \alpha^2}).$$


Эта оценка справедлива для любых соотношений между параметрами измерительных цепей ваттметра и удобна для практического использования. Проведенный с ее помощью *количественный анализ методической погрешности известных отечественных ваттметров показывает, что она составляет доли процента. И может быть уменьшена введением балансного сопротивления в цепь напряжения.*

ВЫВОДЫ

Таким образом, преимуществом предлагаемого метода поверки электродинамических ваттметров сигналом типа «меандр» является аппаратное упрощение калибраторов мощности и повышение

точности поверки, которое обеспечивается увеличением точности задания амплитудных и временных параметров поверочных сигналов, а также значительным повышением точности задания коэффициента мощности благодаря формированию поверочных сигналов, т.е. задание коэффициента мощности возможно с точностью, определяемой значением и нестабильностью частоты опорного (образцового) генератора. Так, при опорной частоте 1 МГц и формировании поверочных сигналов частотой 50 Гц абсолютная погрешность задания фазового сдвига составляет примерно $0,0003^\circ$, что превосходит такую же погрешность эталона-калибратора мощности FLUKE 6100.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акнаев Р.Ф. Поверка средств измерений электрических и магнитных величин / Р.Ф. Акнаев, Л.И. Любимов, А.М. Панасик-Мирович. — М. : Изд-во стандартов, 1983. — 256 с.
2. Дьяков В.П. Генерация и генераторы сигналов. — М. : ДМК Пресс, 2009. — 384 с.
3. Современные функциональные генераторы за рубежом: Экспресс-информация. — М. : Информприбор, — сер. ТС-5. — 1988. — 13 с.
4. Горлач А.А. Цифровая обработка сигналов в измерительной технике / А.А. Горлач, М.Я. Минц, В.Н. Чинков. — К. : Техника, 1985. — 151 с.
5. Туз Ю.М. Источник калибровочного напряжения / Ю.М. Туз, Ю.С. Есиков // Измерительная техника. — 1973. — № 9. — С. 42—44.
6. Минц М.Я. Об использовании сигналов прямоугольной формы для поверки электромеханических приборов / М.Я. Минц, В.Н. Чинков // Измерительная техника. — 1980. — № 3. — С. 42—43.
7. Чинков В.Н. Теоретические основы калибровки электромеханических измерительных приборов переменного тока сигналами прямоугольной формы / В.Н. Чинков, А.А. Каревик // Український метрологічний журнал. — 2002. — № 2. — С.58—61.
8. Чинков В.Н. Методы поверки электроизмерительных приборов переменного тока аналоговыми сигналами специальной формы / В.Н. Чинков, В.В. Мошаренков // Український метрологічний журнал. — 2002. — № 2. — С. 10—16.
9. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. — М. : Радио и связь, 1986. — 512с.
10. А.А. Анго Математика для электро- и радио- инженеров. — М. : Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1965. — 778 с. 

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ НАЦІОНАЛЬНОГО ЛАНЦЮГА КАЛІБРУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ

УДК 53.089.6:681.12

І. Петришин, доктор технічних наук, професор, генеральний директор,

П. Джочко, начальник центру,

Т. Присяжнюк, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

О. Бас, молодший науковий співробітник,

ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»

Установлено основні критерії та принципи, за якими розроблено концепцію побудови національного ланцюга калібрування засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати на реальному середовищі за відповідних тисків. Зроблено акцент на визначенні статусу існуючих калібрувальних установок та передбаченні можливості створення нових. Поінформовано стосовно створення первинного еталона об'ємної витрати газу за високого тиску, зазначено деякі конструктивні особливості його функціонування. Підібрано лічильники, які відіграватимуть роль компараторів у процесі передавання гармонізованої одиниці витрати природного газу за високого тиску.

The paper established the basic criteria and principles on which construction of the concept national calibration chain of the measurement volume and volume flow rate in the real medium at the respective pressures. Focuses on the status of the existing calibration prover and predicting the possibility of creating new ones. Informed the creation of primary standard gas volume flow rate at high pressure, specified some structural features of its operation. Committed selection of meters that will play a role the comparator in the transfer harmonized unit of natural gas flow rate at high pressure.

У проєкті нової редакції Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» запропоновано гармонізувати поняття «калібрування», «простежуваність» та «невизначеність» відповідно до чинних європейських та міжнародних стандартів з урахуванням вимог практики їх застосування метрологічними організаціями [1]. Упровадження в метрологічну практику та прикладне використання за-

значених термінів та процедур дозволить ефективно скоординувати співпрацю вітчизняних метрологічних центрів з іноземними у плані проведення звірень та калібрування засобів вимірювання з метою визнання на міжнародному рівні.

Оскільки відтворення та передавання одиниць об'єму та об'ємної витрати газу, а також проведення повірки в Україні здійснюються відповідно до чинної

повірочної схеми [2], наразі процедура калібрування лічильників газу перебуває поза сферою державного метрологічного контролю. Разом з тим, у споживача присутнє природне бажання зменшити свої витрати, тобто бути впевненим у достовірності вимірювання, здійсненого комерційним вузлом обліку газу. Розрахунок спожитого енергоносія ведеться, зазвичай, за зведеними об'ємами природного газу на вузлах у постачальника й споживача. Відповідно споживач упевнений, що лічильник газу після проведення періодичної повірки «не виходить» за межі встановлених довірчих границь основної похибки, однак, споживання газу здійснюється, як правило, або на одній постійній витраті, або у деякому діапазоні зміни витрати газу. Тому індивідуальне калібрування лічильників та визначення характеристики залежності під час проведення вимірювання з певним кроком зміни витрати в умовах, які відтворюють або є максимально близькими до умов використання лічильника, дають можливість підвищити точність та підтвердити достовірність обліку спожитого газу. Крім того, доцільно зазначити, що нормативні документи (НД) на лічильники газу [3, 4] регламентують обов'язкове проведення калібрування лічильників, що працюють за тисків, більших 0,4 МПа, оскільки у разі використання лічильників за інших умов споживач не може бути впевненим у відсутності появи непрогнозованих додаткових похибок у процесі обліку газу.

Зазначене вище підводить до необхідності створення в Україні, окрім існуючої схеми передавання одиниць об'єму та об'ємної витрати газу, чинної у законодавчо регульованій сфері, ієрархічної схеми проведення калібрування засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати на реальному середовищі в умовах експлуатації. Це передбачено і рядом чинних в Україні НД, ідентичних міжнародним рекомендаціям [5].

ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» як головна організація з вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу лічильниками та витратомірами—лічильниками здійснює кроки щодо гармонізації власної еталонної технічної бази з еталонними засобами інших підприємств та організацій, активно займається створенням нової з метою побудови чіткої ієрархії передавання одиниці та проведення калібрування лічильників за робочих умов вимірювання, тобто на реальному газовому середовищі за відповідних тисків.

Доцільно зазначити, що нині в Україні на реальному газовому середовищі існують:

- калібрувальна установка «Пасічна», що належить ПАТ «Івано-Франківськгаз»;

- цілий калібрувальний комплекс метрологічного центру НАК «Нафтогаз» «Боярка», до складу якого входять декілька еталонних установок;

- установка РПДУ — 41 пг з робочим середовищем — природним газом;

Крім того, планується створення полігонів на базі ПАТ «Київгаз» та ПАТ «Київоблгаз» для проведення довготермінових випробувань лічильників газу на реальному середовищі за тисків 0,4 МПа [6]. Разом з тим, необхідно наголосити на необхідності метрологічної атестації всіх цих калібрувальних установок та передаванні їм гармонізованої одиниці від первинного еталона на високому тиску. Усі зазначені установки та полігони мають забезпечувати проведення калібрування лічильників та обов'язково бути внесеними до схеми проведення калібрування засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати на реальному середовищі з відповідним статусом.

На сьогодні у ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» виконуються роботи зі створення первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу на високому тиску з робочим середовищем — природним газом. Після проведеного аналізу визначено, що найоптимальнішою за принципом дії основою для реалізації такого еталона є поршневі установки. Під час проектування еталона бралися як приклад кращі світові еталони на високий тиск, зокрема, первинні еталони на базі поршневих установок Німеччини та Нідерландів. З усуненням певних недоліків цих поршневих установок у ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» закінчені проектні роботи, і нині поетапно здійснюється виготовлення комплектувальних частин модернізованого еталона поршневого типу. На цьому етапі виконуються вимірювання геометричних розмірів циліндрів з метою визначення ефективного контрольного об'єму, одиницю об'єму та об'ємної витрати якого відтворюватиме первинний еталон. Еталон призначатиметься для проведення калібрування та атестації еталонних лічильників з максимальною витратою до 200 м³/год за тисків до 1,6 МПа.

Технологічно конструкція також передбачає можливість відтворення еталоном одиниці об'ємної витрати за мінімальних тисків, близьких до атмосферного, оскільки, з точки зору гідравліки, в циліндрі забезпечується внутрішня герметичність та відсутність перетоків на поршковому розділювачі шляхом створення надмірного тиску мастила, тобто значення тиску за поршнем має бути завжди більшим за тиск перед ним. У такий спосіб поршень рухається в циліндрі на спеціальних ущільненнях, які забезпечують герметизацію під дією надмірного тиску мастила.

Конструктивна особливість та технічні рішення еталона передбачають можливість використання набору ємностей під тиском з різними газами для проведення широкого спектра науково-дослідних робіт з метою визначення впливу фізико-хімічних властивостей різних газів (наприклад, метану, пропану або бутану) на характеристики лічильників під час проведення калібрування. Разом з тим, технологічно можливим є використання стисненого повітря як робочого середовища установки, в тому числі і за тисків, близьких до атмосферного. Отже, еталон може виконувати функції еталона-копії Державного первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ДЕТУ 03 – 01 – 96.

Разом з тим, для побудови принципово нової ієрархії калібрування засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу одного первинного еталона недостатньо. Для проведення калібрування є необхідним належний парк еталонів, у тому числі вторинних і робочих. Для забезпечення гармонізації та простежуваності калібрувальних установок до первинного еталона доцільно застосувати апробовану багаторічним досвідом процедуру звірення за допомогою компараторів (еталонів передавання) [7]. Перевага такого способу передавання гармонізованої одиниці полягає як у підвищенні точності, достовірності результатів та забезпеченні простежуваності, так і в зручності, оскільки роботи виконуються безпосередньо на місці експлуатації еталонів, без їх демонтажу, за допомогою мобільної пересувної лабораторії [8]. Остання призначена та використовується для забезпечення простежуваності еталонних установок та робочих засобів вимірювання до Державного первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ДЕТУ 03 – 01 – 96 із застосуванням компараторів — еталонів передавання на базі еталонних лічильників та еталонних сопел критичного витоку. Оскільки ДЕТУ 03 – 01 – 96 відтворює одиницю об'ємної витрати за тиску, близького до атмосферного, відповідно компараторам передається одиниця витрати за такого ж значення тиску. Що ж стосується калібрувальної бази, то, як уже зазначалося, робочі засоби калібруватимуться за тисків, адекватних їхнім умовам застосування. Отже постає питання стосовно підбору витратомірів та лічильників, які відіграватимуть роль компараторів під час передавання гармонізованої одиниці витрати природного газу за високого тиску до вторинних та робочих еталонів та займуть чільне місце у схемі проведення калібрування на реальному середовищі. Крім того, зважаючи на багаторічну стабільність компараторів [9]

існуючої схеми (ДСТУ 3383), необхідно розглянути можливість аналогічного їхнього використання для передавання одиниці за високого тиску, з урахуванням їхніх метрологічних характеристик, отриманих у процесі градування на високому тиску.

Із досвіду встановлено, що компаратори мають відповідати ряду основних вимог [7], однак слід ще раз зупинитися на деяких з них. Для початку необхідно зазначити, що компаратори мають працювати в межах об'ємних витрат, що відтворюються первинним еталоном. Однією із найважливіших вимог має бути довготермінова стабільність характеристики компаратора. Разом з тим, необхідно не забувати стосовно плавності, рівномірності та типовості залежності характеристики компаратора, у тому числі й під час градування на високому тиску. Також обов'язковою умовою забезпечення належної роботи компаратора має бути визначений вплив монтажних пристроїв компаратора, тобто наявність регламентованих прямих ділянок трубопроводів, за якими проводитимуться звірення та передавання гармонізованої одиниці. І останнє, що хотілося б відзначити, необхідно провести багаторазові дослідження та адекватно оцінити відтворюваність характеристики компаратора, оскільки це є основною з умов функціонування компаратора.

Задовольняють поставлені вимоги роторні лічильники Delta S-Flow фірми Itron та IRM DUO фірми Elster Instromet. Далі детальніше щодо вказаних лічильників.

Лічильник Delta S-Flow є роторним лічильником з двома трилопатеvimи роторами, кожна лопатка яких розміщена під кутом 120 градусів одна відносно іншої й зміщена на 60 градусів за довжиною. Така конструкція дозволяє повністю уникнути резонансних явищ, характерних для роторних лічильників зі звичайними вісімкоподібними роторами. Зовнішній вид та конструкцію лічильника представлено на рис. 1.

Як зазначалося, в ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» лічильники Delta S-Flow використовуються як еталони передавання з 2007 року, за їх

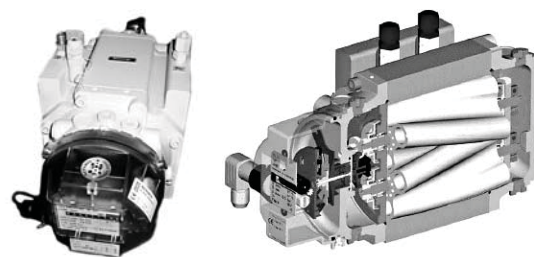


Рис. 1. Зовнішній вид та конструкція лічильника Delta S-Flow

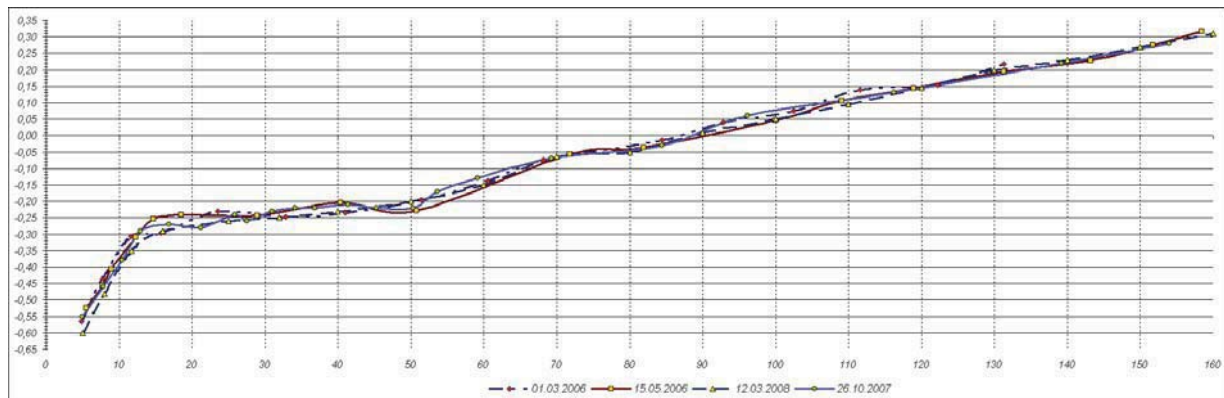


Рис. 2. Результати експериментальних досліджень лічильника Delta S-Flow

допомогою здійснено звірення ДЕТУ 03 – 01 – 96 та передано гармонізовану одиницю практично всім існуючим повірочним установкам. Разом з тим, слід вказати на те, що лічильники Delta S-Flow, а саме їхнє паралельне використання з метою нарощення значення об'ємної витрати, також застосовані у складі вторинного еталона ВЕТУ 03 – 01 – 03 – 2011 [10]. Багаторічні дослідження відтворюваності підтверджують довготермінову стабільність статичної характеристики лічильника (рис. 2). Заключною вимогою до вказаного лічильника є умова стабільності його характеристики під час градування на високому тиску. На рис. 3 представлено градувальну характеристику лічильника Delta S-Flow на тисках 0,8 та 1,6 МПа порівняно з атмосферним тиском [11]. Як видно, в діапазоні до $0,3 Q_{\max}$ зміна похибки може складати до 0,4 %, що є суттєвою в процесі обліку спожитого газу.

Розглянемо інший тип лічильників — *компараторів* IRM DUO фірми Elster Instromet. Специфіка роботи лічильника базується на застосуванні принципу гасіння амплітуди коливань тиску від роботи роторів за умови створення умови протифазної ком-

пенсації. Суть його полягає у такому. Внутрішня вимірювальна камера лічильника розділена на дві однакові частини, у кожній з яких розташована пара однотипних звичайних вісімкоподібних роторів. Обидві пари роторів закріплені на одній осі, але з радіальним кутовим зміщенням на кут 45° , завдяки чому пульсації тиску від роторів «зустрічаються» на виході вимірювальної камери лічильника у протифазі й отже взаємокомпенсуються. Наочно принцип роботи лічильника IRM DUO та його внутрішню будову показано на рис. 4.

Центр має досвід застосування такого типу лічильника, оскільки два лічильники IRM DUO використовуються як еталони передавання. Разом з тим слід відзначити, що метрологічні центри у сфері витратометрії провідних європейських країн, а саме Нідерландів та Німеччини, використовують лічильники IRM DUO модифікації IRPP як еталони передавання у процесі передавання одиниці витрати газу саме на високий тиск. Відповідно залежність характеристики під час градування на різних високих тисках наведено на рис. 5 [12]. Для наочного відображення зміни характеристики від зміни тиску

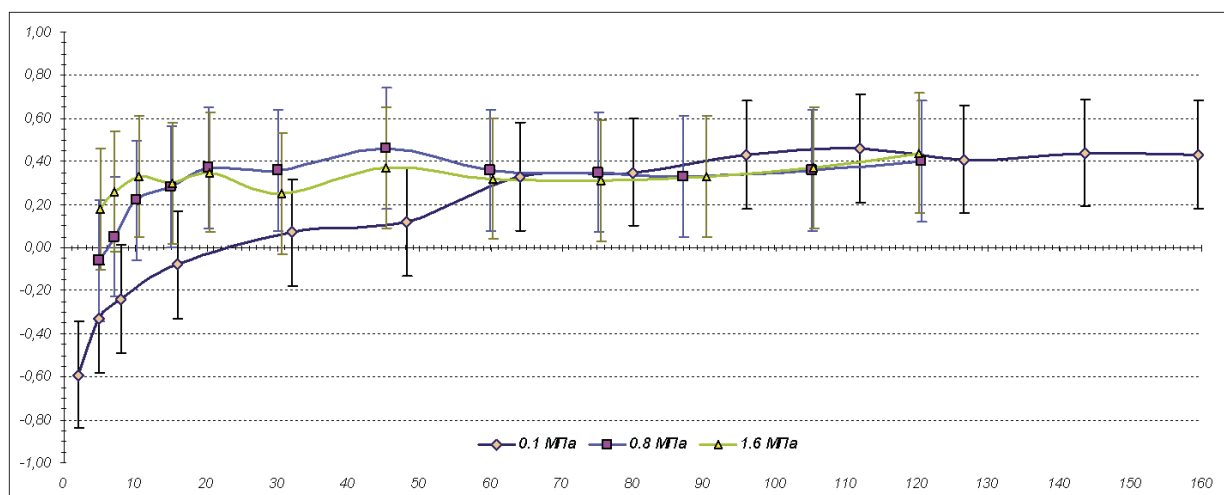


Рис. 3. Градувальні характеристики лічильника Delta S-Flow

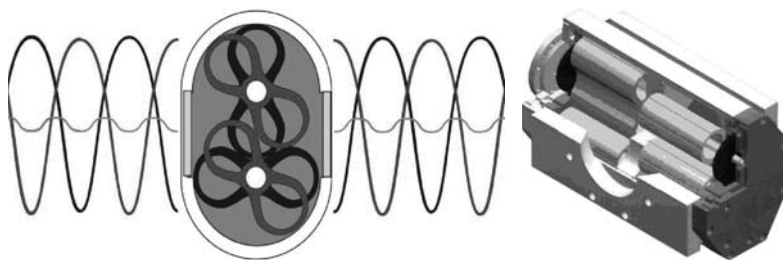


Рис. 4. Принцип роботи та внутрішня будова лічильника IRM DUO

на графіку за віссю абсцис відкладено логарифмічну шкалу в одиницях масової витрати газу.

Після здійсненого порівняння роторних лічильників для можливості використання їх як компараторів для передавання одиниці в ланцюгу калібрування можна зробити висновок, що обидва типи лічильників придатні для використання їх зі статусом компаратора, відповідно вибір типу компаратора здійснюватиметься на основі інших важливих критеріїв, наприклад, коефіцієнта перетворення, тобто ваги імпульсу лічильника або значення максимального робочого тиску лічильника.

Для побудови національного ланцюга калібрування в Україні доречно проаналізувати національні ланцюги калібрування інших країн. На рис. 6 представлено ланцюг калібрування засобів вимірювання об'ємної витрати газу за високого тиску в Німеччині [13]. Слід зауважити, що в Німеччині чинною є також інша загальна схема передавання одиниці об'ємної витрати газу, а ланцюг на рис. 6 є відокремленою її частиною, тобто лише для високого тиску. Зі схеми видно, що її очолює первинний еталон об'ємної витрати газу на високий тиск поршневого типу («piston prover») PTB (Федерального фізико-технічного відомства), нижчою ланкою є калібрувальна установка високого тиску Pigsar, яка є вторинним еталоном цієї схеми. На схемі не зображено передавання одиниці від первинного еталона до вторинного, воно здійснюється за допомогою компаратора (еталонного лічильника IRM DUO модифікації IRPP), який калібрується на первинному еталоні й передає одиницю до набору паралельних лічильників такого ж типу-розміру, які представляють собою вторинний еталон. За участю калібруваль-

ною компараторів (еталонів передавання) — еталонних лічильників, які отримують гармонізовану одиницю від первинного та вторинного еталонів. Калібрувальні установки високого тиску належать фірмам — виробникам лічильників газу, які проводять калібрування лічильників власного виробництва.

Інший ланцюг калібрування засобів вимірювання витрати газу за високого тиску, на який є сенс звертати увагу під час розробляння в Україні ланцюга калібрування лічильників газу на реальному середовищі, представлено на рис. 7. Це ланцюг калібрування Нідерландів [14], який також є частиною загального, що об'єднує еталони для відтворення і передавання одиниць об'ємної витрати за високого і низького (близького до атмосферного) тисків. Очолює його первинний еталон об'ємної витрати газу за високого тиску поршневого типу. Еталон простежується до значень міжнародних одиниць «метра» та «секунди». Від первинного еталона одиниця за високого тиску передається до вторинного еталона. Останній за своєю конструкцією складається із набору п'яти паралельно змонтованих та функціонально об'єднаних еталонних лічильників IRM DUO модифікації IRPP і має назву «NMI TraSys» (Система

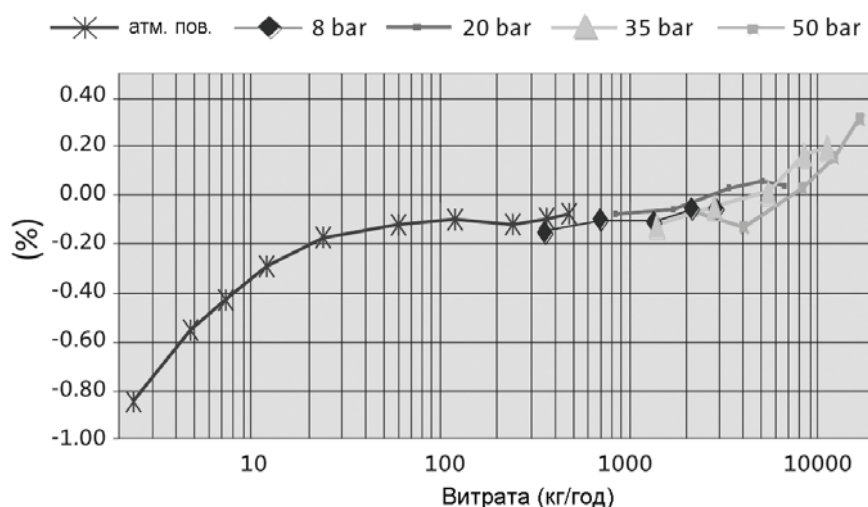


Рис. 5. Набір залежностей за градування на високих тисках лічильника IRM DUO, отриманих під час градування в NMI

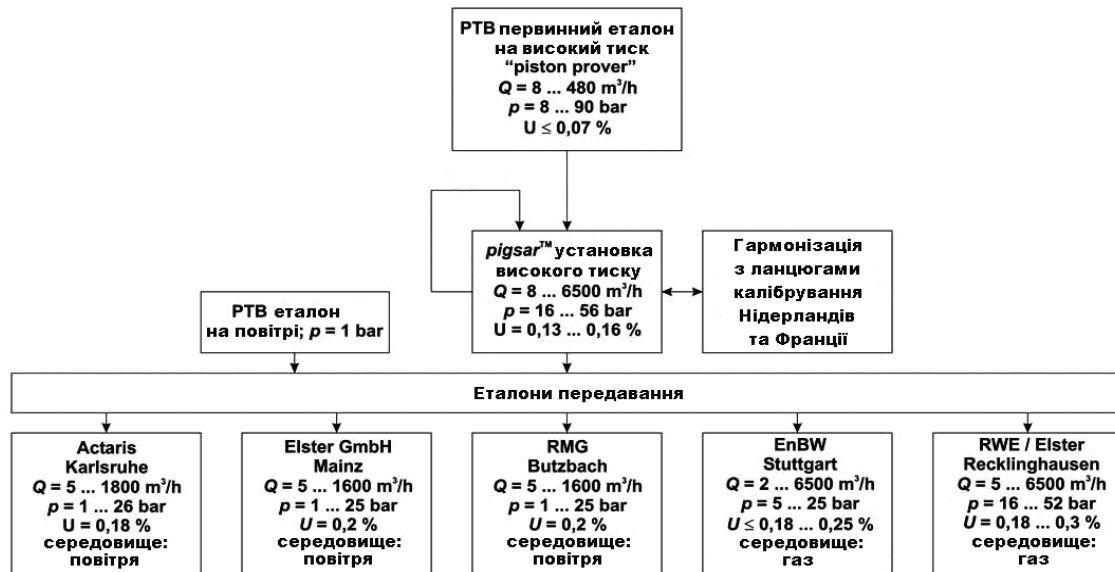


Рис. 6. Ланцюг калібрування засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу за високого тиску в Німеччині

простежуваності NMI). Кожний лічильник із набору калібрується на первинному еталоні. Одиниця за високого тиску, яку передає вторинний еталон, гармонізована з РТВ (Німеччина) та LNE (Франція). Передавання одиниці здійснюється до калібрувальних установок високого тиску, а саме: Groningen, Bergum (установка брала участь у звіреннях гармонізації одиниці об'ємної витрати високого тиску), Westerbork та новоствореної установки EuroLoop, яка має стати глобальним метрологічним центром у сфері вимірювання об'єму та об'ємної витрати за високих тисків не лише в Нідерландах, а й далеко за межами цієї країни.

Представлені на рис. 6, 7 ланцюги калібрування підводять до думки, що в Україні потрібно створювати нову ієрархію, яка має базуватися на розробленому ланцюгу калібрування лічильників газу, не руйнуючи чинної системи відтворення та передавання одиниць об'єму й об'ємної витрати газу та повірки лічильників за тисків, близьких до атмосферного, регламентованої ДСТУ 3383. Використовуючи закордонний досвід кращих метрологічних інститутів у сфері вимірювання витрати газу за високих тисків та зважаючи на глобальний

шлях нашої держави, орієнтований на подолання технічних бар'єрів та вихід на рівень передових європейських країн, авторами сформовано концепцію побудови ланцюга калібрування засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати на реальному середовищі (рис. 8). Він синтезований та гармонічно поєднаний з існуючою ієрархією відтворення та передавання одиниць. Разом з тим, відзначимо декілька функціональних особливостей нової об'єднаної схе-

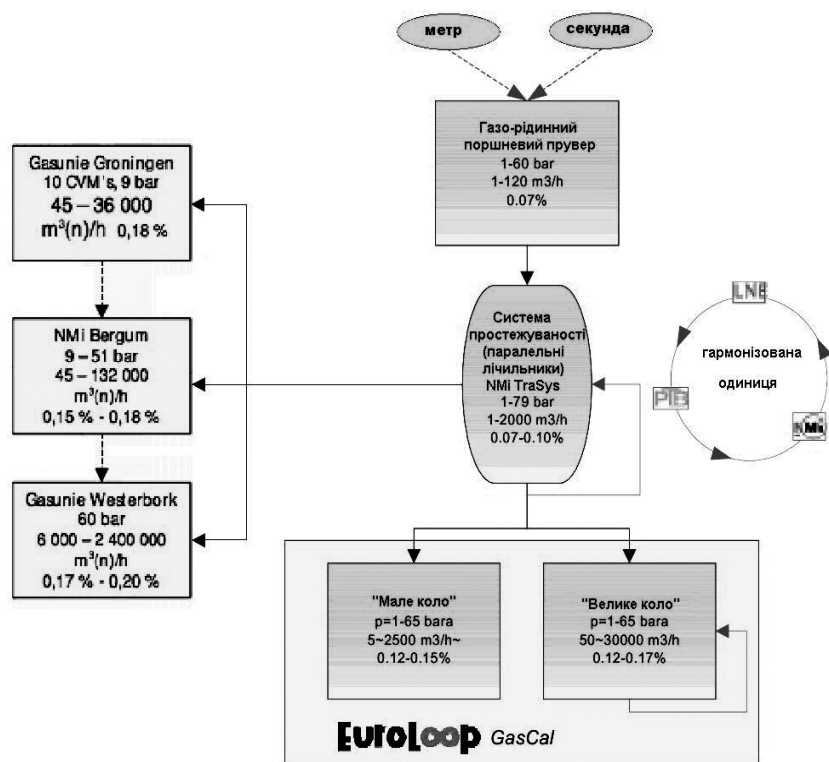


Рис. 7. Ланцюг калібрування засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу за високого тиску в Нідерландах

ми. Перш за все, первинний еталон об'ємної витрати газу на високий тиск має постійно проходити звірення з ДЕТУ 03 – 01 – 96, який за результатами міжнародних звірень з аналогічними еталонами занесено до міжнародної бази ключових звірень KCDV BIPM. Звірення слід проводити із застосуванням компараторів. Подальше передавання одиниці здійснюється аналогічно до базової схеми, тобто з використанням багаторічного досвіду існуючої схеми. Перехід від верхньої сходинки схеми до нижньої, і, відповідно, передавання одиниці здійснюється шляхом проведення звірення за допомогою компараторів. Доцільно наголосити, що такий підхід і відповідний метод використано відповідно до вимог стандарту [15], в якому регламентуються основні чотири методи передавання одиниць. Крім того, акцентуємо увагу на методі передавання шляхом прямих вимірювань. Мається на увазі та особливість схеми, що робочі засоби вимірювань (лічильники та витратоміри) мають можливість забезпечити пряму простежуваність до будь-якої ланки схеми, і якщо в тому є необхідність з точки зору приладової точності, то в тому числі і до первинного еталона одиниці об'ємної витрати на високий тиск.

Отже, зважаючи на теоретичні засади зазначеної концепції та враховуючи наявну технічну калібрувальну базу в Україні, доцільно відобразити практичні аспекти реалізації національного ланцюга калібрування. Запропонована концепція складається з типових ланок, на основі яких будуються загальноприйняті ієрархічні схеми. Разом з тим, для формування національного ланцюга калібрування засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати на реальному середовищі необхідно вказати, окрім обов'язкових технічних характеристик установок для проведення калібрування, організації-зберігачі калібрувальних установок, їхній статус та функції в реалізації національного ланцюга калібрування.

Разом з тим, природно, що у процесі переходу від вищого рівня ланцюга калібрування до нижчого відбувається погіршення точності, іншими словами — безперервне накопичення похибки. Можна констатувати, що похибка вторинного еталона завжди бу-

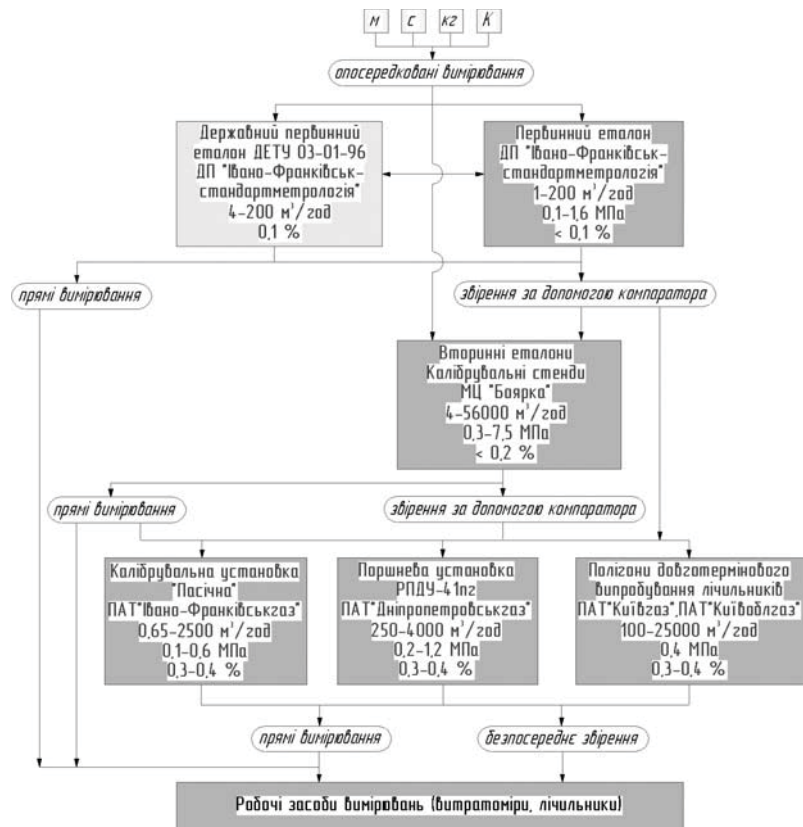


Рис. 8. Національний ланцюг калібрування засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу на реальному середовищі

де більшою за похибки первинного еталона. Це обумовлено тим, що вторинний еталон отримує одиницю від первинного і його похибка формується з урахуванням додаткової похибки, зумовленої методом передавання одиниці, оскільки в побудованому національному ланцюгу калібрування передавання одиниці від первинного еталона до вторинних еталонів здійснюється із використанням компараторів. Отже, в цьому випадку похибка вторинного еталона збільшуватиметься залежно від використаного компаратора, тобто від повторюваності результатів вимірювань, здійснених компаратором.

Однак, чинні національні стандарти [5, 16] вимагають указувати, разом із значеннями похибок, невизначеність вимірювання, здійсненого еталонами. На рис. 9 наведено схему накопичення похибок, разом із накопиченням невизначеності вимірювань, у процесі передавання одиниць від первинного до вторинного еталона. У [17] встановлено, що довірчі границі похибки первинного еталона $\delta_{\text{ПЕ}}$ мають включати оцінки середнього квадратичного відхилення (СКВ) S та границі невиключених систематичних похибок (НСП) Θ . Відповідно розширена невизначеність вимірювання первинного еталона $U_{\text{ПЕ}}$ складається із невизначеностей за типами А (U_A) та В (U_B) [18]. Похибка передавання одиниці

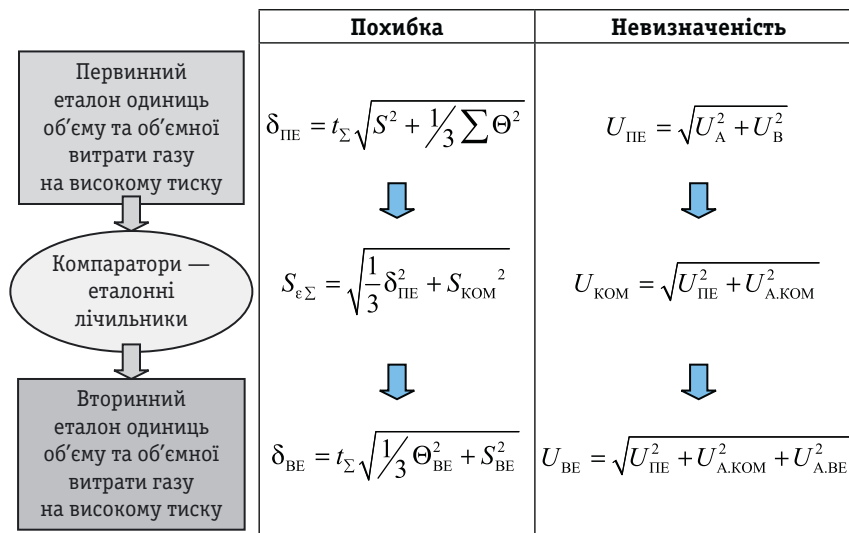


Рис. 9. Схема накопичення похибок та невизначеності у процесі передавання одиниць від первинного еталона

за допомогою компараторів характеризується СКВ результатів вимірювання, яке включає вплив випадкових похибок вимірювання $S_{\text{КОМ}}$ та СКВ НСП засобу, що передає одиницю $\delta_{\text{ПЕ}}/\sqrt{3}$, яким є первинний еталон. Що стосується розширеної невизначеності передавання одиниці компаратором, то вона складається із розширеної невизначеності компаратора за типом А — $U_{\text{А.КОМ}}$ та розширеної невизначеності первинного еталона $U_{\text{ПЕ}}$. Отже, довірчі границі похибки вторинного еталона $\delta_{\text{ВЕ}}$ мають урахувати СКВ результату вимірювання під час звірення його з первинним еталоном $S_{\text{ВЕ}}$ та СКВ НСП вторинного еталона $\Theta_{\text{ВЕ}}/\sqrt{3}$, які включають в себе похибку передавання одиниці від первинного еталона за допомогою компараторів. Розширена невизначеність вторинного еталона $U_{\text{ВЕ}}$ фактично включає розширену невизначеність методу передавання одиниці $U_{\text{КОМ}}$ за допомогою компаратора і розширену невизначеність за типом А вторинного еталона $U_{\text{А.ВЕ}}$.

І останнє, на що слід звернути увагу, — технічна можливість передавання одиниці, тобто, у який спосіб передавати одиницю від первинного еталона на високий тиск до вторинних еталонів та калібрувальних установок, максимальна витрата яких значно перевищує максимальну витрату, що відтворюється первинним еталоном. Це питання доречно вирішити із застосуванням схеми нарощення значення об'ємної витрати газу (рис. 10). Нарощення відбувається із застосуванням пара-

лельного набору компараторів, кожний із яких калібрується на первинному еталоні. Оскільки, первинний еталон одиниці об'ємної витрати на високий тиск відтворює одиницю витрати до 200 м³/год, відповідно запропоновано об'єднати в одну функціональну ланку разом з первинним еталоном паралельно п'ять компараторів для отримання максимального значення об'ємної витрати 1000 м³/год. Компаратори, окрім прямої функції передавання одиниці, відіграють

важливу роль стосовно постійного перевіряння стабільності метрологічних характеристик первинного еталона. Таке значення витрати відповідає максимуму для лічильника типорозміру G650. У цьому випадку доцільно застосувати роторний лічильник, який відповідатиме всім вимогам, поставленим до компараторів. Отже, з використанням набору компараторів проводиться калібрування лічильника з максимальною витратою 1000 м³/год. Наступний ступінь включає набір із чотирьох паралельно встановлених лічильників, кожний із яких калібрується попереднім способом. Сумарне значення об'ємної витрати цієї ланки складає 4000 м³/год. За таких умов можливе калібрування лічильника типорозміром G2500 із максимальною витратою 4000 м³/год. Подальше використання роторних лічильників є недоцільним, тому для формування наступної ланки рекомендовано використовувати турбінні або ультразвукові лічильники. Використання у паралельному наборі лічильників такого типорозміру вимагає великих витрат, тому установки такого типу реалізуються зазвичай на байпасі газорозподільних

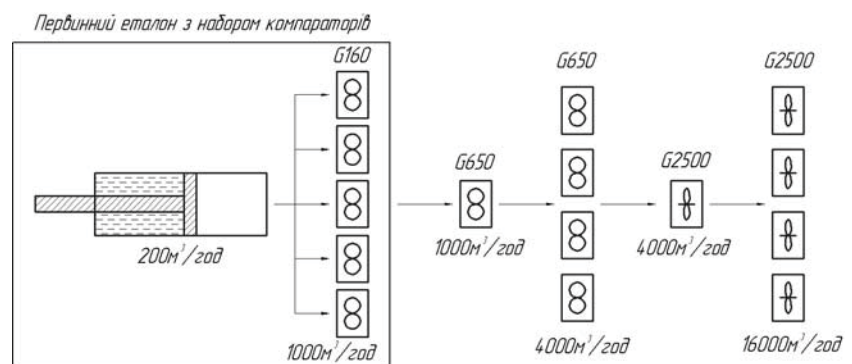


Рис. 10. Схема нарощення значення об'ємної витрати газу шляхом паралельного використання еталонних лічильників


або газовимірювальних станцій у системі магістральних газопроводів. На схемі показано використання чотирьох паралельно встановлених лічильників типорозміру G2500, однак їхнє число можна збільшувати, якщо в цьому є калібрувальна необхідність.

ВИСНОВКИ

Зважаючи на постійні вимоги щодо підвищення точності та достовірності обліку природного газу, найбільш правильним шляхом є індивідуальне калібрування лічильників газу в умовах, що максимально

відповідають умовам їхньої експлуатації. В Україні є наявна технічна база для проведення калібрування лічильників газу, однак відсутня нормативна основа забезпечення реалізації процедури калібрування. ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» розроблено національний ланцюг калібрування засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати на реальному середовищі з визначенням статусу існуючих калібрувальних установок та передбаченням можливості створення нових.

ЛІТЕРАТУРА

1. ISO/IEC Guide 99:2007. International Vocabulary of Metrology — Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM). — Geneva, 2007 — 104 p. (Міжнародний словник з метрології — Основні і загальні поняття та відповідні терміни).
2. ДСТУ 3383:2007. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу. — Київ: Держспоживстандарт України, 2007. — 10 с.
3. ДСТУ EN 12261:2006. Лічильники газу турбінні. Загальні технічні умови (EN 12261:2002, IDT). — Київ: Держспоживстандарт України. — 39 с.
4. ISO 17089-1:2010. Measurement of fluid flow in closed conduits — Ultrasonic meters for gas. — Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement. Geneva, 2010. — 108 p. (Вимірювання витрати в закритих каналах — Ультразвукові лічильники газу. — Частина 1: Лічильники для комерційного обліку газу і вимірювань в газорозподільних системах).
5. ДСТУ OIML D5:2007. Метрологія. Повірочні схеми. Правила розроблення (OIML D5:1982, IDT). — Київ: Держспоживстандарт України, 2010. — 12 с.
6. Дудолад А.С., Большаков В.Б., Косач Н.И., Слипушенко В.П. Стратегия развития метрологического обеспечения учета природного газа в Украине // Український метрологічний журнал. — 2012. — № 4. — С. 31 — 35.
7. Петришин І.С., Безгачнюк Я.В., Середюк Д.О. Упровадження еталонів передавання в повірочну практику засобів вимірювальної техніки об'єму та об'ємної витрати газу // Український метрологічний журнал. — 2006. — № 4. — С. 55 — 59.
8. Петришин І.С., Безгачнюк Я.В., Бас О.А. Пересувна лабораторія для забезпечення простежуваності робочих засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати природного та скрапленого вуглеводневого газу // Метрологія та прилади — 2012. — № 3. — С. 26 — 29.
9. Звіт за результатами звірення «Реализация сличенний еталонных испытательных установок в диапазонах расхода газа: (4 — 160) м³/час» за темою КООМЕТ 412/UA/07 Draft B.
10. Петришин І.С., Джочко П.Я., Безгачнюк Я.В., Пелікан Ю.Т., Бас О.А. Створення вторинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні витрат від 4 м³/год до 1000 м³/год // Український метрологічний журнал. — 2011. — №2. — С. 36 — 40.
11. Безгачнюк Я.В. Методологія передавання розміру одиниць об'єму газу від первинного еталона на повітрі до еталона на природному газі // Матеріали шостої науково-технічної конференції «Вимірювання витрати та кількості газу і нафтопродуктів» — Івано-Франківськ, 2009. — 60 с.
12. Rotary Meters as Master Meters. Precision in measuring technology. — Elster-Instromet Profiles 2/2006. — pp. 11 — 13. (Роторні лічильники як еталонні лічильники. Точність у вимірювальній техніці).
13. PTB—Mitteilungen. Special Issue. Metering Energy and Fluid Flows // Volume 119 (2009) No. 1. Physikalisch—Technische Bundesanstalt, Braunschweig — 50 p. (Спеціальний випуск. Облік енергії та витрати рідини).
14. J. van der Grinten. Euroloop — Milestones in Metrology IV, Venice, 9 — 11 May 2012 (EuroLoop — Віхи Метрології IV).
15. ГОСТ 8.061—80 ГСОЕ. Поверочные схемы. Содержание и построение. — Москва, Государственный комитет по стандартам, 1980. — 20с.
16. ДСТУ 3231:2007. Метрологія. Еталони одиниць вимірювань. Державні, первинні та вторинні. Основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування. — Київ, Держспоживстандарт України, 2008. — 24 с.
17. ДСТУ ГОСТ 8.381:2008 (СТ СЭВ 403 — 76)ГСОЕИ. Еталоны. Способы выражения погрешностей. — Москва, Государственный комитет СССР по стандартам, 1980. — 10 с.
18. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43:2001, IDT) — Київ, Держспоживстандарт України, 2006. — 26с. 

УДК 389.62.1:615.471:616-074

ПРОБЛЕМИ КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КАМЕР, ВИКОРИСТОВУВАНИХ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ФОРМЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КРОВІ ТА СПИНО-МОЗКОВОЇ РІДИНИ

І. Романенко, директор,

Ю. Шевцов, заступник директора з метрології,

Г. Човганська, начальник науково-технічного відділу метрологічного забезпечення
геометричних вимірювань,
ДП «Миколаївстандартметрологія»

Розглянуто проблеми контролю геометричних параметрів камер Горяєва та Фукс-Розенталя, використовуваних у клінічних лабораторіях для лабораторних досліджень формених елементів крові та спинно-мозкової рідини. Представлено пропозиції для забезпечення високого рівня еквівалентності результатів вимірювань між медичними закладами та захисту пацієнтів від недостовірних результатів досліджень.

The paper concerns the problems relatively control of geometrical parameters of Goryaev and Fuks-Rozental chambers used in clinical laboratories for laboratory researches of hemocytes and spinal cord liquid. The offeres for guarantee of high level equivalention of measurings results between medical institution and defence patients from doubtful, researches are presented.



І. Романенко



Ю. Шевцов



Г. Човганська

Справність і точність медичної техніки впливає безпосередньо на правильність визначення діагнозу і повноцінність дії лікувальної процедури на пацієнта. Так, наприклад, результати досліджень крові, отримані на неточному приладі/камері можуть дезорієнтувати лікаря під час проведення лікування, операції, надання невідкладної допомоги. Основна умова практичного застосування результатів аналізів у медицині — їх порівнянність. Результати аналізів конкретного зразка біологічного матеріалу повинні бути однаковими, незалежно від того, де вони зроблені. Зрозуміло, що однаковими вони можуть бути лише у випадку, якщо вони є вірними. Наші лікувальні заклади цілком резонно не довіряють «чужим» результатам аналізів і просять їх переробити у себе.

У процесі проведення клініко-діагностичних досліджень лабораторії медичних закладів та установ застосовують камери Горяєва та камери Фукс-Розенталя.

Камера Горяєва та камера Фукс-Розенталя — пристосування, призначені для підрахунку кількості клітин у заданому об'ємі рідини. Рахункова камера (рис. 1) є товстою скляною пластиною з розташованим у центрі поглибленням, що дорівнює 0,1 мм (камера Горяєва) або 0,2 мм (камера Фукс-Розенталя). На дні камери нанесено 2 або 4 мікроскопічні сітки розміром 3,0×3,0 мм (камера Горяєва), 4,0×4,0 мм (камера Фукс-Розенталя), розмежовані поперечною канавкою. Збоку від сіток розташовані скляні прямокутні пластини, до яких притирається шліфоване покривне скло.

Під час досліджень покривне скло щільно притискують до бічних пластин камери і злегка пересувають його вгору і вниз до того моменту, поки не з'являться інтерференційні смуги («ньютоніві кільця»). Лише за дотримання цих умов досягається належний об'єм камери.

Розміри сторін сіток камери Горяєва за ТУ 64-1-816-84 [1] складають: $(3,0 \pm 0,005)$ мм, $(0,2 \pm 0,0015)$ мм та $(0,05 \pm 0,001)$ мм. При цьому сітку нанесено на ділянках скла, розташованих на $(0,1 \pm 0,008)$ мм нижче, ніж дві сусідні ділянки. Ці ділянки призначені для притирання покривного скла. У результаті об'єм рідини, утворений великим квадратом камери Горяєва, складає 0,004 мкл. Підрахунок формених елементів крові проводять під мікроскопом у чітко визначеній кількості квадратів камери Горяєва. Потім перераховують число формених елементів на 1 мкл і 1 л крові з урахуванням об'єму квадратів.

Дуже часто відповідальні за метрологічне забезпечення лікувальних закладів та представники Міністерства охорони здоров'я піднімають питання щодо доцільності віднесення камер Горяєва та Фукс-Розенталя до засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та необхідності їх метрологічного контролю. Як відомо, таке питання постає у всіх регіонах України.

За рішенням НТК з метрології Держстандарту України [2], камери Горяєва та Фукс-Розенталя належать до ЗВТ, які використовуються під час робіт із забезпечення охорони здоров'я. Згідно зі ста-

тею 20 Закону України [3] на них поширюється сфера державного метрологічного контролю і нагляду.

Камери Горяєва та камери Фукс-Розенталя, які використовуються у клінічних лабораторіях для лабораторних досліджень формених елементів крові та спинно-мозкової рідини, мають нормовані геометричні розміри, дотримання яких забезпечує правильність підрахунку кількості формених елементів крові та спинно-мозкової рідини під час проведення лабораторних аналізів. Отже, контроль їх геометричних параметрів забезпечує правильність проведення лабораторних аналізів.

Згідно з п. 4 ДСТУ OIML D 12:2007 [4] «Повірка у сфері медицини, виготовлення та тестування лікарських препаратів» ЗВТ, які застосовують під час діагностування та лікування людей і тварин, необхідно повірять. Приклади таких ЗВТ, речовин та пристроїв наведено нижче. У п. 4.2 названо ЗВТ та речовини, які застосовують у хімічних, біологічних та біохімічних аналізах (зокрема розрахунках) для визначення біологічних та хімічних речовин і компонентів, встановлення їх вмісту, концентрації, порції та кількості.

Приклад. ЗВТ, зазначені у п. 4.2: хімічні ваги, проградуйовані колби та пробірки, бюретки, шприци, піпетки, дозатори, пікнометри, камери/прилади для рахування клітин, аналізатори, спектрофотометри, мікроазотометри тощо.

Висновок. Згідно з ДСТУ OIML D 12:2007 камери мають статус ЗВТ.

За часів Радянського Союзу у період розроблення та упровадження методик проведення лабораторних аналізів камери Горяєва випускалися за ТУ 64-1-816-84 [1]. Чинна методика контролю основних характеристик камер Горяєва (розроблена та затверджена ННЦ «Інститут метрології», м. Харків) передбачає здійснювати контроль метрологічних характеристик на відповідність вимогам саме ТУ 64-1-816-84.

На території України масово використовуються камери Горяєва та камери Фукс-Розенталя, вироблені згідно з ТУ 64-1-816-84 та ТУ У 33.1-14307481-045:2008 [5].

На метрологічний контроль лікувальні установи надають камери в комплекті з паспортами, в яких наводиться інформація стосовно технічних умов, згідно з якими їх виготовлено, та надаються метрологічні характеристики. Інколи у паспорті відсутнє посилання на технічні умови, відповідно до яких виготовлено вироб.

Окрім цього, буває взагалі відсутньою супровідна документація або є паспорт, виконаний на ксероксі,

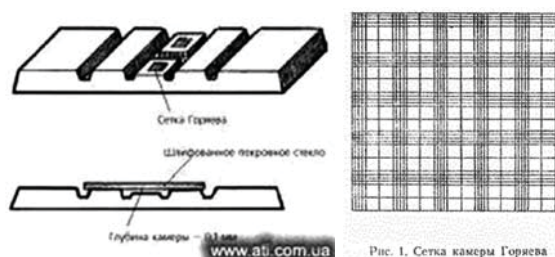


Рис. 1

в якому не вказаний виробник, відсутні штампи ВТК та посилання на документ, згідно з яким виготовлено продукцію. При цьому наводяться метрологічні характеристики, які під час вимірювань не підтверджуються.

Наприклад, (інформація наведена із «паспорта»):

Паспорт

Реєстраційне посвідчення МОЗ України, гігієнічний висновок

Технічна характеристика

кількість сіток	4
сторона сітки, мм	$3,0 \pm 0,005$
сторона малого квадрата, мм	$0,05 \pm 0,001$
сторона великого квадрата, мм	$0,2 \pm 0,015$
кількість великих квадратів	169
площа сітки, кв.мм	6,76
глибина камери, мм	$0,1 \pm 0,0040$
об'єм камери, куб. мм	0,676

Якщо порахувати площу сіток та об'єм камери із наведених характеристик, вони не відповідають наведеному.

Під час контролю метрологічних характеристик встановлено, що сторона сітки становить не $(3,0 \pm 0,005)$ мм, а 2,6 мм, що не відповідає запису у паспорті. Якщо така камера без контролю метрологічних характеристик потрапить до клінічної лабораторії, то бере просто жах відносно результатів досліджень, які будуть отримані.

І таких прикладів дуже багато. Вони вносять непорозуміння під час контролю геометричних параметрів камер.

Технічні умови є власністю підприємств-виробників, тому не є доступними широкому колу зацікавлених організацій. Під час контролю метрологічних характеристик державними підприємствами Центрального органу виконавчої влади з метрології застосовується експлуатаційна документація або паспорт.

Якщо порівняти метрологічні характеристики наведених нижче технічних умов та європейського стандарту, бачимо, що точнісні характеристики в ТУ У 33.1-14307481-045:2008 значно погіршені порівняно з такими ж за ТУ 64-1-816-84 та DIN 12847 [6]. При цьому можливе отримання хибних результатів під час лабораторних досліджень формених елементів крові та спинно-мозкової рідини.

Аналізування нормованих характеристик камер Горяєва показало, що, наприклад, глибина камери у різних виробників є однаковою — 0,1 мм, а до-

пустими відхилення від номінального розміру відрізняються:

Назва характеристики	Нормоване значення та допустиме відхилення, мм		
	ТУ 64-1-816-84	ТУ У 33.1-14307481-045:2008	DIN 12847
Глибина камери	$0,1 \pm 0,008$	$0,1 \pm 0,02$	$0,1 \pm 0,002$

За результатами робіт з контролю геометричних розмірів камер, проведених ДП «Миколаївстандартметрологія» за 2012 рік, майже у 10 % камер метрологічні характеристики не відповідали вимогам експлуатаційної документації або не було забезпечено притерття покрівного скла. Це обумовлено, перш за все, тим, що геометричні розміри та притерття покрівного скла цих камер не контролювалися належним чином після випуску з виробництва на відповідність вимогам нормативних документів. У процесі експлуатації бокові поверхні камер для притерття покрівного скла зазнають інтенсивного зносу та механічних пошкоджень, що впливає на значення глибини камери та забезпечення притерття покрівного скла відповідно до вимог МПУ 01-003-2005 [7].

На деяких камерах Горяєва, у яких змінено технологію виготовлення (камери виготовлені не суцільними, а склеєними), спостерігається розклеювання частин камери, що призводить до зміни метрологічних характеристик.

Зважаючи на перехід України до застосування аналітичними лабораторіями загальносвітової концепції оцінювання невизначеності результатів вимірень, у тому числі показників крові, ДП «Миколаївстандартметрологія» вважає позицію виробників щодо збільшення допустимих відхилень геометричних параметрів камер Горяєва хибною.

Розглянемо це на прикладі підрахунку кількості еритроцитів у крові людини [8]. Допустимими нормальними показниками кількості еритроцитів у крові здорової людини є 4 – 5 млн.од. у 1 мм³ для чоловіків та 3,9 — 4,7 млн.од. для жінок (за іншими джерелами ці показники можуть несуттєво відрізнятися). Тобто, максимальне відносне відхилення від середнього показника може складати 11 %, для чоловіків і 9 %, для жінок. Згідно зі згаданою вище концепцією *цільова розширена невизначеність вимірювання* цього показника, яка складається із декількох джерел, а не лише геометричних параметрів камери, не повинна бути більшою за половину від допустимої норми, тобто повинна складати

у середньому 5 %. При цьому *цільова розширена невизначеність відтворення* одного з головних геометричних параметрів камери Горяєва, що випускаються за ТУ У 33.1-14307481-045:2008, а саме її глибини, складає 20 %, що перевищує допустиму норму у 4 рази.

Уважаємо, що характеристики камер Горяєва, наведені у паспортах із посиланням на ТУ У 33.1-14307481-045:2008, є надто грубими порівняно з іншими виробниками і не можуть забезпечувати достовірне проведення аналізів крові та спинномозкової рідини.

Технічними умовами європейських виробників передбачено, що невизначеність відтворення глибини камери складає 2 % (DIN 12847), що є правильним з точки зору розрахунку невизначеності вимірювання кількості еритроцитів.

З точки зору сучасного європейського та світового підходу немає ніякого значення, чи є камера засобом вимірювальної техніки, чи ні, адже все одно вона підлягає калібруванню за відповідною методикою з оціненням невизначеності вимірювань геометричних параметрів. Виходячи з аналогічних міркувань, вимірювання глибини камери, випущеної за ТУ 64-1-816-84, повинно виконуватися з роз-

ширеною невизначеністю, не більшою 4 % (4 мкм), а за європейською практикою за її калібрування — не більшою 1 % (1 мкм).

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Цілком очевидно, що камери Горяєва та камери Фукс-Розенталя, що застосовуються під час клініко-діагностичних досліджень, повинні забезпечити високий рівень еквівалентності результатів вимірювань між медичними закладами та забезпечити захист пацієнтів від недостовірних результатів досліджень.


2. Стаття 4 Закону України [1] визначає: «Державна метрологічна система створює необхідні засади для забезпечення єдності вимірювань у державі, а її діяльність спрямована на реалізацію єдиної технічної політики у сфері метрології».

З метою дотримання вимог зазначеної статті необхідно:

- установити статус камер Горяєва;
- установити статус камер Фукс-Розенталя;
- привести у відповідність нормативну та експлуатаційну документації.

Нормативні документи з метрологічного забезпечення камер Горяєва та камер Фукс-Розенталя повинні бути гармонізовані з міжнародними.

ЛІТЕРАТУРА

1. ТУ 64-1-816-84. Камеры для счета форменных элементов крови и клеточных элементов спинномозговой жидкости.
2. Протокол № 5 від 27.11.1997, м. Київ. Засідання науково-технічної комісії з метрології Держстандарту України.
3. Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 15.06.2004 № 1765-ІУ.
4. ДСТУ OIML D 12:2007. «Метрологія. Сфери застосування засобів вимірювальної техніки, що підлягають повірці (OIML D 12:1986, IDT)».
5. ТУ У 33.1-14307481-045:2008. Камера Горяєва.
6. DIN 12847. Laboratory glassware — Haemocytometer counting chambers — Rulings (Посуда стеклянная лабораторная. Камеры гемоцитометрического подсчета. Правила).
7. МПУ 01-003-2005. Метрологія. Камери Горяєва та Фукс — Розенталя. Методика повірки.
8. Клиническое исследование крови. Методика подсчета эритроцитов, гемоглобина. 

УДК 681.122–032.31:53.088.3

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБЛІКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ПОБУТОВИМИ ЛІЧИЛЬНИКАМИ В УМОВАХ УКРАЇНИ

Є. Пістун*, доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри автоматизації теплових і хімічних процесів,

Ф. Матіко, кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри,

Національний університет «Львівська політехніка»

Сформовано методологію підвищення точності обліку газу побутовими лічильниками газу. На її основі розроблено методичку калібрування цих лічильників, що дозволяє мінімізувати систематичну похибку внаслідок неприведення вимірюваного об'єму газу до стандартних умов та зменшити необлікований об'єм газу у побуті.

The methodology for improvement of natural gas metering accuracy by household gas meters is developed. Based on the methodology new technique for calibration of household gas meters is developed, which provides minimization of the systematic error caused by non-conversion of gas volume to standard conditions and reduction of unaccounted gas volume in household sector.

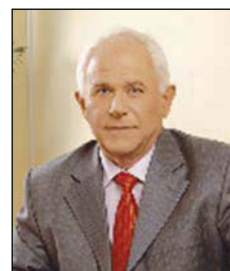
У практиці вимірювань кількості газу і, відповідно, розрахунків за отриманий, спожитий чи використаний газ зазвичай застосовують одиниці об'єму. Оскільки газ — це стискуване середовище, одна й та ж маса газу може займати залежно від тиску та температури газу різний об'єм. Отже, для здійснення розрахунків за газ об'єм газу слід зводити до об'єму, який би займав цей газ за стандартних умов, тобто за певних базових (стандартних) значень тиску та температури, відповідно P_b і T_b . У різних країнах ці значення є різними. В Україні та Росії вони визначені ГОСТ 2939-63 [1]: температура T_b — 20 °С (293,15 K), абсолютний тиск P_b — 760 мм рт. ст. (101,325 кПа). В Європі значення P_b те ж саме, а значення T_b є різним для різних країн: T_b — 15 °С або T_b — 0 °С [2].

Лічильники газу (ЛГ) вимірюють об'єм V_p газу, який пройшов через них, за реальних (робочих) умов вимірювання, тобто за тиску P і температури T газу на лічильнику.

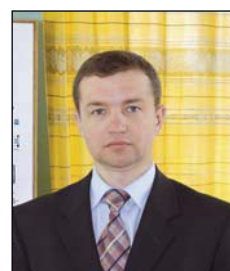
Зведення вимірюваного об'єму V_p газу до базових умов виконують згідно з формулою:

$$V_b = V_p \cdot (P T_b) / (T P_b K), \quad (1)$$

де V_b , V_p — об'єми газу відповідно за базових умов та реальних (робочих) умов вимірювання; P , T — абсолютний тиск і температура газу в реальних умовах



Є. Пістун



Ф. Матіко

* Професору Пістуну Є. П. Указом Президента України № 279/2013 від 16.05.2013 присвоєно у складі авторського колективу Державну премію України у галузі науки і техніки за 2012 рік. Редакція та редколегія журналу «Метрологія та прилади» щиро вітають Євгена Павловича, одного з найактивніших авторів видання.

вимірювання; P_b , T_b — абсолютний тиск і температура газу за базових умов; K — коефіцієнт стисливості газу.

У промислових ЛГ зведення об'єму газу до базових умов здійснюється відповідно до (1) за допомогою електронних коректорів об'єму газу. У побутових ЛГ така корекція зазвичай не виконується.

У процесі експлуатації побутових ЛГ тиск і температура газу на лічильнику не відповідають базовим умовам, за рахунок чого виникають систематичні складові похибки під час обліку газу.

Метою роботи є формування методології підвищення точності обліку газу побутовими ЛГ й розроблення на її основі методики калібрування побутових ЛГ, що дозволяє мінімізувати систематичну похибку внаслідок неприведення вимірюваного об'єму газу до стандартних умов та зменшити необлікований об'єм газу у побуті.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Слід зазначити, що внаслідок невідповідності робочих параметрів газу їх базовим значенням мають місце два види похибок: методична й інструментальна.

Перша зумовлена тим, що газ є стискуваним середовищем, і його кількість у заданому об'ємі залежатиме від тиску і температури газу, а зведення вимірюваного об'єму газу до базових умов не проводиться. Ця похибка визначається як

$$\delta_{\text{нп}} = (V_p - V_b) / V_b \cdot 100. \quad (2)$$

Підставивши формулу (1) у (2), отримаємо вираз для визначення похибки вимірювання об'єму газу внаслідок його неприведення до базових умов:

$$\delta_{\text{нп}} = \left(\frac{T \cdot P_b \cdot K}{P \cdot T_b} - 1 \right) \cdot 100 = \left(\frac{T \cdot P_b \cdot Z}{P \cdot T_b \cdot Z_b} - 1 \right) \cdot 100, \quad (3)$$

де Z , Z_b — фактор стисливості газу, обчислений відповідно для робочих (P , T) та базових (P_b , T_b) умов.

Як видно із (3), значення похибки $\delta_{\text{нп}}$ залежить від базових значень тиску та температури P_b і T_b , а також від значень P і T . Із (3) також легко встановити, що діапазон зміни значень похибки $\delta_{\text{нп}}$ внаслідок неприведення об'єму газу до базових умов, є надзвичайно широким.

Для базового значення абсолютного тиску $P_b = 101,325$ кПа та трьох застосовуваних у [1, 2] базових значень температури $T_b = 20^\circ\text{C}$, 15°C , 0°C у таблиці наведено значення похибки $\delta_{\text{нп}}$, обчислені за формулою (3).

Із таблиці видно, що у діапазоні зміни температури газу від -20°C (253,15 К) до $+30^\circ\text{C}$ (303,15 К) для всіх трьох указаних базових значень температури похибка $\delta_{\text{нп}}$ приймає як додатні, так і від'ємні зна-

Похибка $\delta_{\text{нп}}$ внаслідок неприведення вимірюваного об'єму газу до базових умов

Температура газу, $^\circ\text{C}$	Похибка $\delta_{\text{нп}}$, % для базової температури T_b		
	0°C	15°C	20°C
$-20,0$	$-7,39$	$-12,25$	$-13,75$
$-15,0$	$-5,54$	$-10,50$	$-12,03$
$-10,0$	$-3,69$	$-8,75$	$-10,31$
$-5,0$	$-1,85$	$-7,00$	$-8,59$
0	0	$-5,25$	$-6,87$
$5,0$	$1,85$	$-3,50$	$-5,16$
$10,0$	$3,69$	$-1,75$	$-3,44$
$15,0$	$5,54$	0	$-1,72$
$20,0$	$7,38$	$1,75$	0
$25,0$	$9,23$	$3,50$	$1,72$
$30,0$	$11,07$	$5,24$	$3,44$

чення. Очевидно, що у реальних умовах вимірювання об'єму газу тиск P і температура T газу весь час змінюються, а отже, і похибка $\delta_{\text{нп}}$ також змінюється. Це свідчить, що під час визначення об'єму газу протягом тривалого інтервалу обліку (наприклад, протягом року) могла б відбуватися певна компенсація похибки вимірювання об'єму газу $\delta_{\text{нп}}$. Якщо ж температура газу T у ЛГ дорівнює T_b , похибка $\delta_{\text{нп}} = 0$.

Далі розглянуто способи мінімізації похибки $\delta_{\text{нп}}$.

За результатами виконаних нами досліджень, встановлено [3], що температура газу в газопроводі досягає температури навколишнього повітря вже на відстані понад 3 м від точки виходу газопроводу з-під землі. Тобто температура газу у побутовому ЛГ, встановленому на відкритому повітрі, практично дорівнює температурі навколишнього повітря і може приймати значення у всьому діапазоні зміни температури повітря протягом року — від -20°C до $+30^\circ\text{C}$.

Для аналізування зміни температури повітря протягом року (на прикладі України) нами використані середньомісячні значення температури повітря за регіонами, зафіксовані Гідрокомметом України протягом п'яти років спостережень. За цими результатами спостережень визначені середньомісячні значення температури повітря за регіонами, у середній за п'ять років спостережень, а також середньомісячні значення температури повітря в Україні.

Представимо графік зміни середнього в Україні значення температури повітря протягом року, побудований на основі середньомісячних значень (рис. 1,а). Ураховуючи рівність температури навколишнього повітря та газу для лічильників, установлених зовні приміщень, графік (рис. 1,а) відтворює одночасно зміну середнього значення температури

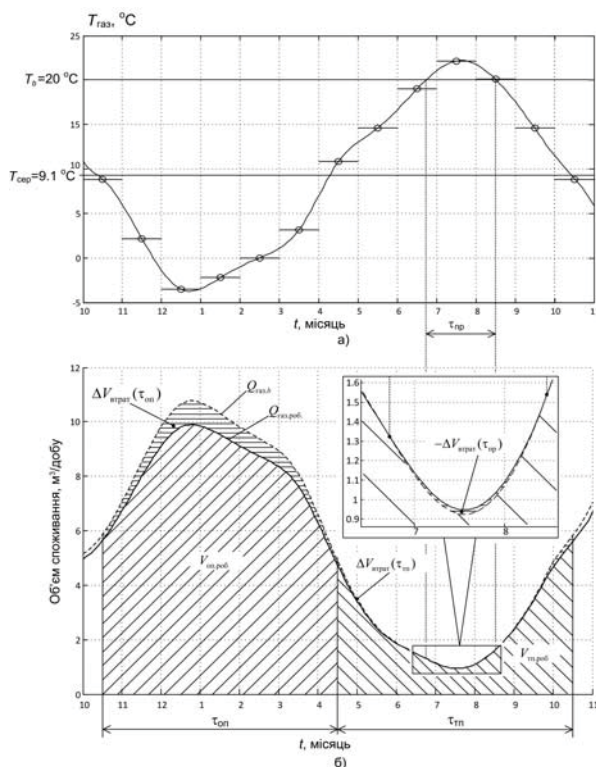


Рис. 1. Залежність втрат газу внаслідок неприведення його об'єму до базових умов від середнього значення температури газу протягом року (для лічильників, встановлених зовні приміщення)

газу в лічильнику, встановленому на відкритому повітрі.

Наведемо графіки зміни середньостатистичного добового споживання газу побутовими споживачами України протягом року (рис. 1,б). Із нього видно, що температура газу є близькою до температури базових умов (базової температури $T_b = 20 ^\circ C$) лише протягом частини теплого періоду. Весь опалювальний період температура газу в лічильнику є нижчою від базової температури T_b , тому похибка $\delta_{нп}$ є від'ємною. Отже, протягом опалювального періоду $\tau_{оп}$ наявна систематична від'ємна похибка вимірювання об'єму газу, внаслідок якої формується необлікований об'єм газу $\Delta V_{втрат}(\tau_{оп})$. Значення $\Delta V_{втрат}(\tau_{оп})$ знайдено як різницю об'єму газу $V_{оп,б}$, зведеного до базових умов, та об'єму газу за показаннями ЛГ $V_{оп,роб}$ (рис. 1,б), що можна описати таким виразом:

$$\Delta V_{втрат}(\tau_{оп}) = V_{оп,б} - V_{оп,роб} = \int_{\tau_{оп}} Q_{газ,б}(t) dt - \int_{\tau_{оп}} Q_{газ,роб}(t) dt. \quad (4)$$

За умов опалювального періоду та низької температури повітря споживання газу є значним, тому й необлікований об'єм газу $\Delta V_{втрат}(\tau_{оп})$ є також значним.

Протягом частини теплого періоду температура газу в ЛГ також є нижчою від базової температури T_b ,

тому похибка $\delta_{нп}$ залишається від'ємною, внаслідок чого формується необлікований об'єм газу $\Delta V_{втрат}(\tau_{пр})$. Протягом іншої частини теплого періоду $\tau_{пр}$ температура газу є вищою від T_b , тому похибка $\delta_{нп}$ є додатною, а отже формується надлишковий облікований об'єм газу — $\Delta V_{втрат}(\tau_{пр})$ — об'єм «притоків» газу:

$$-\Delta V_{втрат}(\tau_{пр}) = V_{пр,роб} - V_{пр,б} = \int_{\tau_{пр}} Q_{газ,роб}(t) dt - \int_{\tau_{пр}} Q_{газ,б}(t) dt. \quad (5)$$

Оскільки витрата газу за умов високих температур повітря є особливо низькою, об'єм газу $-\Delta V_{втрат}(\tau_{пр})$ не перевищує недооблікованого об'єму газу теплого періоду $\Delta V_{втрат}(\tau_{пр})$. Тобто необлікований об'єм газу опалювального періоду $\Delta V_{втрат}(\tau_{оп})$ є некомпенсованим. Об'єм необлікованих втрат газу протягом року становить:

$$\Delta V_{втрат}(\text{рік}) = \Delta V_{втрат}(\tau_{оп}) + \Delta V_{втрат}(\tau_{пр}) - \Delta V_{втрат}(\tau_{пр}). \quad (6)$$

За результатами досліджень авторів, установлене, що відносна величина необлікованого об'єму втрат $\Delta V_{втрат}(\text{рік})$ у кліматичних умовах України лише за рахунок невідповідності температури газу його базовому значенню ($T_b = 20 ^\circ C$) становить близько 6,0 % від об'єму, споживаного населенням газу для лічильників, встановлених зовні приміщення.

Є три варіанти вирішення завдання — зменшення чи усунення похибки, зумовленої неприведенням об'єму газу до базових умов:

1) застосовувати коректори, які зводять вимірюваний об'єм газу до базових умов (так, як це виконується у промислових ЛГ);

2) уводити та унормовувати базові значення температури і тиску газу (свої для кожної країни чи групи країн) у такий спосіб, щоб мінімізувати похибку, зумовлену напругенням об'єму газу до базових умов;

3) проводити калібрування ЛГ під попередньо визначені середньозважені за обсягами споживання газу середньорічні значення тиску і температури довілля у кожній країні чи групі країн.

Розглянемо можливості реалізації зазначених вище варіантів.

Застосування мікропроцесорних коректорів для зведення вимірюваного об'єму газу до базових умов — це універсальний метод, за допомогою якого повністю було б вирішено поставлене завдання, незалежно від прийнятих у тій чи іншій країні базових значень тиску та температури. Найскладнішою ланкою в реалізації цього методу є вимірювання абсолютного тиску газу в ЛГ, зокрема, через вартість вимірювальних перетворювачів абсолютного тиску газу. Однак, для побутових ЛГ, як показано нижче,

корекцію об'єму газу за його тиском можна не застосовувати. Операція ж вимірювання температури газу в ЛГ та операція перерахунку об'єму газу відповідно до (1) на спеціалізованому мікропроцесорному коректорі на сьогодні реалізується відносно легко (коректор умонтовується в ЛГ замість механічного лічильного пристрою). Більше того, такі коректори виконують також і функцію передавання результатів вимірювання об'єму газу, вже зведеного до базових умов, до відповідної диспетчерської мережі, й приклади такої реалізації відомі. Хоча вартість побутових ЛГ з електронними коректорами на сьогодні ще значно перевищує вартість лічильників без коректорів.

Уведення базових значень температури і тиску газу, які приблизно дорівнюють середньозваженим за обсягами споживання газу середньорічним значенням тиску і температури навколишнього середовища у кожній країні чи групі країн сьогодні реалізується у багатьох державах. Однак, як показано вище, такий підхід не може повністю вирішити зазначене завдання, оскільки не може бути одночасно реалізованим для ЛГ, встановлених у приміщенні, і для ЛГ, встановлених на вулиці, адже різниця температури газу в таких лічильниках сягає 15 °С. А це означає, що для $T_b = 15$ °С ЛГ, встановлені на відкритому повітрі, в середньому недорахуватимуть понад 5 % спожитого газу, в той час, для $T_b = 0$ °С ЛГ, встановлені у приміщенні, у середньому завищуватимуть показання на 5 % спожитого газу. Крім того, слід окремо зазначити, що сама по собі зміна значень T_b не призведе до зменшення втрат газу, оскільки не вплине на роботу великої кількості вже встановлених ЛГ, прокаліброваних для іншого значення T_b .

Для запропонованого калібрування ЛГ під середньозважені за обсягами споживання газу середньорічні значення тиску $\bar{P}_{\text{газ}}$ і температури $\bar{T}_{\text{газ}}$ газу в ЛГ у місці їх встановлення необхідно визначити ці значення для кожної країни чи групи країн. Для цього необхідно обчислити:

- середньомісячні значення тиску і температури довкілля;
- середні значення тиску і температури довкілля протягом опалювального (холодного) та неопалювального (теплого) періодів року;
- середньостатистичні обсяги споживання газу побутовими споживачами протягом опалювального (холодного) та неопалювального (теплого) періодів року;
- середньозважені за обсягами споживання газу середньорічні значення тиску та температури газу в лічильниках у місці їх встановлення.

Для визначення середньозваженого за обсягами споживання середньорічного значення температури газу, який обліковується побутовими ЛГ, слід розрізнити лічильники, встановлені зовні та всередині опалюваних приміщень.

Як було зазначено вище, для лічильників, встановлених зовні приміщень, температура газу є практично рівною температурі довкілля. Тому середньомісячні значення температури газу в таких лічильниках прийнято рівними середньомісячним значенням температури повітря за регіонами, усередненим за п'ять років спостережень. На основі середньомісячних значень температури газу отримано середні значення температури газу відповідно у холодний (опалювальний) період (I, II, III, X, XI, XII місяці) й у теплий (IV, V, VI, VII, VIII, IX місяці).

Для визначення температури газу в лічильниках, встановлених в опалюваних приміщеннях, авторами виконані дослідження зміни температури газу у газопроводах, що підводять газ до лічильників, встановлених всередині опалюваних приміщень. На підставі визначених середніх значень характеристик підвідних трубопроводів, середнього значення витрати газу та середнього значення температури у приміщеннях, отримано за встановленою методикою значення температури газу, що проходить через лічильник, встановлений в опалюваному приміщенні, відповідно у холодний (опалювальний) і теплий періоди року.

За даними служб обліку газорозподільних організацій України, встановлено, що обсяги споживання газу в побутовому секторі у холодні та теплі місяці співвідносяться як 4:1. У зв'язку з цим під час визначення середньозваженого за обсягами споживання газу середньорічного значення температури газу в Україні слід урахувати вказане співвідношення. Отже, середньозважене за обсягами споживання газу середньорічне значення температури газу $\bar{T}_{\text{газ}}$ з урахуванням відмінності в обсягах споживання газу у холодні та теплі місяці знайдемо як:

$$\bar{T}_{\text{газ}} = k_{\text{оп}} \cdot T_{\text{оп}} + k_{\text{тп}} \cdot T_{\text{тп}}, \quad (7)$$

де $T_{\text{оп}}$ та $T_{\text{тп}}$ — відповідно середні температури газу в лічильнику в опалювальний (холодний) та теплий періоди; $k_{\text{оп}} = 0,8$ і $k_{\text{тп}} = 0,2$ — вагові коефіцієнти, значення яких визначено із відношення $k_{\text{оп}}/k_{\text{тп}} = 4$ за $(k_{\text{оп}} + k_{\text{тп}}) = 1$, що забезпечує виконання зазначеного вище співвідношення обсягів споживання газу у холодний та теплий періоди року 4:1.

Знайдене у такий спосіб середньозважене за обсягами споживання газу середньорічне значення температури газу $\bar{T}_{\text{газ}}$ дорівнює:

- у лічильниках, встановлених на відкритому повітрі, + 4 °С;

- у лічильниках, встановлених в опалювальному приміщенні, + 12,4 °С.

Аналогічні дослідження виконані і щодо тиску газу в побутовому ЛГ.

Закон України стосовно комерційного обліку природного газу [4] вимагає застосування процедури зведення об'єму газу до стандартних (базових) умов. Для такого зведення в побутових ЛГ пропонується у процесі їх калібрування (цю операцію проходить кожен ЛГ на заводі-виробнику) коригувати градувальну характеристику ЛГ у такий спосіб, щоб за їх подальшої роботи зазначені складові похибок за рахунок неприведення об'єму газу до базових умов були виключені. Для цього необхідно під час калібрування лічильників зводити їх показання до значень тиску і температури, близьких до умов експлуатації приладів. У цьому і полягає оптимізація роботи побутових ЛГ — мінімізація похибки вимірювання об'єму газу внаслідок його неприведення до базових умов протягом року.

Для реалізації запропонованої методики уводяться поняття номінальних робочих значень температури і тиску газу T_n і P_n , які мають зазначатися в експлуатаційній документації та на відліковому пристрої лічильника, від яких цим лічильником здійснюється зведення результатів вимірювання об'єму газу до температури і тиску за стандартних умов. При цьому пропонується номінальні робочі значення температури і тиску природного газу T_n і P_n вибирати у такий спосіб, щоб вони були близькими до середньозважених за обсягами споживання газу значень тиску та температури газу в лічильниках:

* номінальний тиск P_n доцільно прийняти рівним $P_n = 101,325$ Па (це пояснюється тим, що значення P_n визначається із виразу, де усереднене значення атмосферного тиску в Україні дорівнює $P_a = 99,440$ Па (середньозважене значення атмосферного тиску в Україні), а усереднене значення надлишкового тиску газу $P_{\text{надл.}} = 1,885$ Па. Отже, номінальне значення тиску газу в ЛГ P_n дорівнює стандартному значенню тиску 101,325 Па, прийнятому як в Україні, так і в інших європейських країнах;

* температура T_n приймається рівною $T_n = 288,15$ К (15 °С) для лічильників, встановлених всередині опалюваних приміщень, або $T_n = 273,15$ К (0 °С) для лічильників, встановлюваних поза межами опалюваних приміщень (скориговане середньозважене за обсягами споживання газу середньорічне значення температури газу).

Під час калібрування лічильника за такою мето-

диною відносна похибка i -го лічильника з урахуванням втрат тиску та різниці температур на вході лічильника і на вході робочого еталона обчислюється за формулою:

$$\delta_i = \left(\frac{V_i}{V_0} \cdot \frac{P_i}{T_i} \cdot \frac{T_0}{P_0} \cdot \frac{P_b}{T_b} \cdot \frac{T_n}{P_n} - 1 \right) \cdot 100, \quad (8)$$

де P_i, T_i — абсолютний тиск та температура повітря на вході лічильника, який калібрують;

P_0, T_0 — абсолютний тиск та температура повітря на вході еталонного лічильника;

V_0 — об'єм газу за показаннями еталонного лічильника;

V_i — об'єм газу за показаннями лічильника, який калібрують.

Отже, під час калібрування лічильника відповідно до розробленої методики здійснюється зміщення статичної характеристики лічильника у такий спосіб, щоб його показання відповідали значенням об'єму газу, зведеним до базових умов, прийнятих в окремій країні. На рис. 2 представлено залежності похибки $\delta_{\text{ин}}$ від температури газу для ЛГ, відкаліброваних для трьох номінальних значень температури: $T_n = 20$ °С, $T_n = 15$ °С і $T_n = 0$ °С. Із рис. 2 видно, що методичну похибку вимірювання об'єму внаслідок неприведення до базових умов можна мінімізувати правильним вибором номінального значення температури газу.

Отже, методика калібрування побутових ЛГ є такою:

1) Визначають середньозважені за обсягами споживання газу середньорічні значення тиску та температури газу в ЛГ (див. вище).

2) Визначають з умови мінімізації втрат газу номінальні значення тиску P_n та температури T_n , від

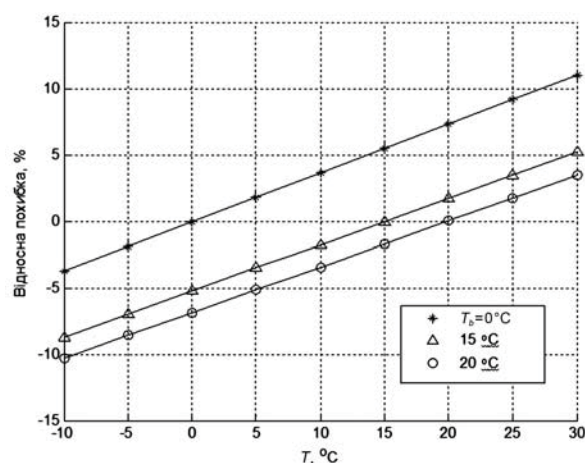


Рис. 2. Залежність похибки $\delta_{\text{ин}}$ вимірювання об'єму газу внаслідок неприведення до базових умов від температури за тиску 101,325 кПа

яких цим лічильником здійснюється зведення результатів вимірювання об'єму газу до температури і тиску базових умов. Доцільно, щоб номінальні значення T_n та P_n дорівнювали відповідним середньозваженим за обсягами споживання газу середньорічним значенням тиску та температури газу в ЛГ.

При цьому допускаються відхилення значень T_n та P_n від зазначених середньозважених $\bar{T}_{\text{газ}}$, $\bar{P}_{\text{газ}}$: номінальні значення T_n і P_n слід вибирати у такий спосіб, щоб їх відхилення від середньозважених за обсягами споживання середньорічних значень тиску та температури газу в ЛГ взаємно компенсували їхній вплив на похибку неприведення до базових умов.

3) Калібрують ЛГ для номінальних значень T_n і P_n (здійснюють відповідне зміщення статичної характеристики ЛГ).

Запропонована методологія та основні принципи зазначеної нової методики калібрування побутових ЛГ узгоджені з ДП «Укрметртестстандарт» та ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» Міністерства економіки України, і вони разом із ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв» брали участь у розроблянні, апробації та атестації такої методики.

Запропоновані методологія та методика калібрування побутових ЛГ не суперечать європейським нормативним документам [5], однак для їх застосування бажано внести незначні зміни як у нормативні документи України [6–8], так і в європейські [5].

Калібрування ЛГ можна виконувати як за температури лабораторії, що рекомендовано EN1359:1998 [5], так і за номінального робочого значення температури T_n . Для України температура лабораторії відповідає базовому значенню температури T_b . При цьому, якщо калібрування виконують за температури 20 °С, усувається лише методична складова похибки внаслідок неприведення показань лічильника до базових умов.

Для усунення інструментальних складових похибки, зумовлених роботою лічильника за робочої температури газу, зазначене калібрування ЛГ слід було б виконувати власне за температури T_n , зокрема для України:

$T_n = 15\text{ °С}$ — для лічильників, установлених в опалюваному приміщенні;

$T_n = 0\text{ °С}$ — для лічильників, установлених ззовні.

Однак, урахувавши складність та витратність проведення калібрування лічильників за температури $T_n = 15\text{ °С}$ і, особливо, за температури $T_n = 0\text{ °С}$, а також те, що значення цих інструментальних похибок зазвичай не перевищують 0,5 %, виконувати калібрування за таких значень температури не-

доцільно. Разом із тим перевіряти загальне значення інструментальної похибки як функції температури у всьому робочому діапазоні температур лічильника слід виконувати відповідно до пункту 7.1.3 EN1359:1998 [5].

Після калібрування кожного лічильника за викладеною вище методикою його маркують такою інформацією:

« $T_n\ 15\text{ °С}$ » — якщо під час калібрування приймалося значення $T_n = 288,15\text{ К}$ (15 °С);


« $T_n\ 0\text{ °С}$ » — якщо під час калібрування приймалося значення $T_n = 273,15\text{ К}$ (0 °С).

Маркування наносять на інформаційну табличку відлікового пристрою лічильника або окрему табличку даних, яка кріпиться до корпусу лічильника на видному місці, і має бути перманентним (не змиватися і не стиратися) та легко читатися. Відповідні записи мають бути зроблені й в експлуатаційній документації на ЛГ.

ВИСНОВКИ

Запропонована методологія підвищення точності обліку газу побутовими ЛГ та нова методика їх калібрування дозволять у простий спосіб додатково врахувати понад 4 % від об'єму газу, що використовується у побуті. Ці додаткові обсяги газу вже обліковуватимуться ЛГ (після їх калібрування за новою методикою), а отже, й оплачені споживачами, а не віднесені на державний рахунок, як це сьогодні відбувається.

ЛІТЕРАТУРА

- ГОСТ 2939-63. Газы. Условия для определения объема.
- ISO 13443:1996. Natural gas — Standard reference conditions.
- Пістун Є.П., Бродин Ю.І., Матіко Ф. Д. Обґрунтування вибору технологічних параметрів калібрування побутових лічильників газу з метою мінімізації похибки обліку природного газу. Технічний звіт за Договором № 04/11 від 22.04.2011. ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», Львів, 2011. — 28 с.
- Закон України про забезпечення комерційного обліку природного газу. Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 2012. — № 5. — 28 с.
- EN 1359:1998. Лічильники газу мембранні. Загальні технічні умови.
- ДСТУ 3607-97. Лічильники газу побутові. Правила приймання та методи випробувань.
- ДСТУ 3336-96. Лічильники газу побутові. Загальні технічні вимоги.
- Р50-071-98. Метрологія. Лічильники газу побутові. Методи та засоби повірки. 



А. Гукасян, генеральний директор,

В. Новіков, начальник лабораторії метрологічного забезпечення, геометричних і механічних вимірювань,

К. Подостроєць, інженер II категорії,

ДП «Одесастандартметрологія»

Розглянуто особливості процесу метрологічного контролю тахеометрів та поставлено завдання щодо його спрощення. Наведено варіант реалізації способу такого контролю.

The paper presents the features for process of tacheometers metrological control and the problem to simplify its. It is proposed the realization variant of the method for such control.

Геодезія, яка зародилася кілька тисяч років тому і практично завжди використовувала методи й інструменти у незмінному виді, принаймні упродовж останніх трьох століть, докорінно змінилася. Істотно розширився парк геодезичного обладнання, останніми роками весь спектр геодезичних робіт виконується з використанням засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) нового покоління.

В умовах швидкого темпу розвитку ринкових відносин одним із пріоритетних завдань нашої держави є забезпечення якості продукції. Відповідно до цього контроль геодезичних ЗВТ є актуальним.

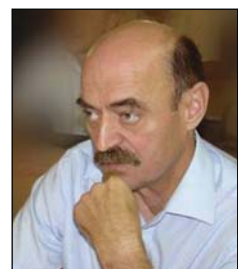
В Україні немає власного виробництва геодезичних ЗВТ. Більшість із них, що надходить в країну, випускається в Японії, Швейцарії, Китаї, США, Російській Федерації, в яких багаторічний досвід виробництва оптичних засобів вимірювання та жорсткий контроль якості продукції зумовлює їх монополізм на цьому ринку.

На сьогодні навіть наявність сучасних засобів вимірювання не гарантує виконання всіх видів робіт на високому рівні й якісно. Лише після проходження своєчасного метрологічного контролю геодезичних ЗВТ можна говорити стосовно якості геодезичних, кадастрових та землепорядних робіт.

Для метрологічного контролю ЗВТ геодезичного призначення використовують різне контрольно-вимірювальне та еталонне обладнання. Їх різноманіття зумовлюється конструктивною складністю геодезичної техніки, наявністю великої кількості нормованих метрологічних характеристик, необхідністю їх визначення з достатньою надійністю. Більшість еталонних контрольно-вимірювальних засобів узаконена через процедуру метрологічної атестації та знайшла своє місце у повірочних



А. Гукасян



В. Новіков



К. Подостроєць

схемах для геодезичних засобів вимірювань. Серед них базисні лінійні геодезичні полігони різних розрядів, спеціальні автоколімаційні установки тощо.

ІСНУЮЧІ ЕТАЛОННІ ЗАСОБИ МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ ГЕОДЕЗИЧНИХ ЗВТ

Базисний лінійний геодезичний полігон (БЛГП) — це еталон, який слугує для забезпечення єдності лінійних вимірювань у геодезичних мережах, передавання одиниці фізичної величини — довжини від еталона робочим ЗВТ: світловіддалемірам, тахеометрам (віддалемірним частинам), іншим приладам геодезичного призначення для вимірювання відстаней. Нині метрологічний контроль зазначених робочих ЗВТ здійснюється за допомогою полігонів II розряду [1].

БЛГП складається із фундаментальних базисних центрів спеціальних конструкцій, які забезпечують стабільність планового розміщення їх у часі, та еталонних відстаней між базисними центрами, що вимірені з установленою точністю.

Для розміщення такого полігону необхідна спеціальна площадка, яка має відповідати таким вимогам:

- пряма, без перешкод, довжиною не менше 1,5 км;
- відсутня сейсмічна активність;
- рівнина, без пливунів і ярів;
- відсутні потужні вітри;
- має доступні під'їзди на полігон у будь-яку пору року;

• на ній забезпечено збереження геодезичних пунктів [2].

Ураховуючи досвід метрологічного контролю тахеометрів, можна зробити висновок, що кількість еталонних БЛГП у країні є недостатньою. Так, у високорозвинених країнах відстань між полігонами становить близько 70 км. Потреба у більшій кількості полігонів зумовлюється сучасними масштабами геодезичних робіт, які проводяться в Україні: 1 — 2 базиси на область [3—5].

Побудова геодезичних полігонів потребує великих людських і фінансових вкладень та багато часу. Виникає багато проблем із вдалим розташуванням таких полігонів, існують додаткові витрати коштів на оренду землі для їх розташування.

Автоколімаційні установки призначені для визначення та контролю метрологічних характеристик геодезичних ЗВТ — оптичних і лазерних нівелірів, теодолітів, приладів вертикального проектування, кутомірної частини оптичних і електронних тахеометрів тощо, принцип дії яких засновано на застосуванні зорових труб, горизонтальних і (або) вертикальних лімбів.

Найбільшу популярність в Україні отримала автоколімаційна установка, розроблена спеціалістами ДП «Укрметртестстандарт», типу АУПНТ для повірки теодолітів, нівелірів і тахеометрів (кутомірної частини) [6]. АУПНТ є оптико-механічним засобом вимірювання, який складається з трьох частин:

- установки автоколімаційної для повірки нівелірів АУПН — робочого еталона 3 розряду за ГОСТ 8.016 [7];
- установки автоколімаційної для повірки теодолітів АУПТ — робочого еталона 2 розряду за ГОСТ 8.016;
- пристосування для повірки приладів вертикального проектування, які можуть застосовуватися окремо, але конструктивно та функціонально представляють один засіб вимірювання.

МЕТРОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТАХЕОМЕТРІВ

Тахеометр — геодезичний ЗВТ, призначений для вимірювання відстаней, горизонтальних і вертикальних кутів. Він об'єднує в собі два геодезичні ЗВТ — теодоліт і світловіддалемір, та невеликий комп'ютер. Тахеометр (давньогрец. — «вимірювати швидко») дозволяє значно прискорити процес вимірювання, саме тому отримав таку назву.

Метрологічний контроль тахеометрів поділяється на дві частини:

- * метрологічний контроль його кутомірної частини;
- * метрологічний контроль його віддалемірної частини.

Для першої частини використовуються лабораторні автоколімаційні установки, для другої — геодезичні полігони. Наразі в Україні немає затверджених загальних технічних умов на тахеометри, втім як й їх виробництва.

Методика повірки кутомірної частини тахеометрів регламентується методикою МПУ 164/01-2003 [8] або розділом «Повірка» настанови з експлуатації конкретного типу тахеометра. Метрологічний контроль кутомірної частини зазначених ЗВТ здійснюється за допомогою спеціальних автоколімаційних установок, що дозволяє виконувати повірку в умовах лабораторії.

Залежно від типу тахеометрів методики повірки можуть мати відмінності, але основні пункти повірки кутомірної частини тахеометрів такі:

- перевірка зовнішнього виду, опробування, перевірка працездатності та комплектності;
- контроль положення пухирця установочного рівня та його юстування;
- контроль положення пухирця циліндричного рівня та його юстування;

- контроль нахилу сітки ниток зорової труби та його юстування;
- вимірювання під час контролю діапазону компенсації компенсатором кутів нахилу осі тахеометра, середньої квадратичної похибки роботи компенсатора і систематичної складової похибки компенсатора на одну хвилину нахилу осі обертання тахеометра;
- контроль збіжності осі оптичного центра з вертикальною віссю обертання тахеометра;
- вимірювання під час контролю метрологічних характеристик тахеометра (максимального значення колимаційної похибки, значення місця нуля вертикального круга, відхилення від неперпендикулярності осі обертання зорової труби до осі обертання аліади, максимального спільного впливу ексцентриситету горизонтального кола й аліади на вимірюваний кут, максимального впливу ексцентриситету вертикального кола на вимірюваний кут, середньої квадратичної похибки вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів);
- оформлення результатів повірки.

Методика повірки віддалемірної частини тахеометрів регламентується розділом «Повірка» настанови з експлуатації конкретного типу тахеометра. Аналіз існуючих методик метрологічного контролю тахеометрів (віддалемірної частини) показав, що для проведення їх повірки є необхідним:

- ◇ наявність геодезичного полігону;
- ◇ відповідні кліматичні умови;
- ◇ можливість транспортування засобів на полігон і назад до лабораторії;
- ◇ додатковий час для транспортування засобу вимірювання, а також час, витрачений на вирівнювання температур навколишнього середовища і засобу вимірювання [6].

Постає завдання спрощення процесу метрологічного контролю тахеометрів: об'єднання еталонних засобів для метрологічного контролю кутомірної та віддалемірної частин в єдиний вимірювальний комплекс; зведення до мінімуму впливу зовнішніх факторів на весь процес метрологічного контролю та повне виключення всіх проблем, пов'язаних з проектуванням і побудовою геодезичних полігонів. Досягнення зазначеної мети дозволить здійснювати метрологічний контроль тахеометрів в умовах повірочних лабораторій у кожному територіальному центрі стандартизації, метрології та сертифікації, що значною мірою підвищить якість метрологічного контролю геодезичних засобів вимірювання в країні у цілому. Окрім того, вирішиться проблема недостатньої «густоти» розміщення геодезичних поліго-

нів в Україні, порівняно з кількістю геодезичних полігонів у високорозвинених країнах.

ВАРІАНТ РЕАЛІЗАЦІЇ СПОСОБУ

МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ ГЕОДЕЗИЧНИХ ЗВТ

Спосіб дозволяє проводити всі необхідні метрологічні роботи, пов'язані з повіркою, атестацією або калібруванням, контролем якісних показників тахеометрів, обмежившись лише приміщенням лабораторії, без будь-якої необхідності виїзду на спеціальні геодезичні полігони.

Схематично спосіб передавання одиниці фізичної величини — метра від еталонних ЗВТ до робочих для визначення великих лінійних розмірів (тахеометрів) з використанням базисного лінійного геодезичного полігону зображено на рис. 1.

В умовах геодезичного полігону відстань між I -им і n -им базисним центром практично обмежується лише умовами його розташування і може сягати декількох кілометрів. Якщо в умовах лабораторії розмістити такий полігон, він обмежуватиметься довжиною приміщення лабораторії, що робить його використання неефективним під час метрологічного контролю тахеометрів.

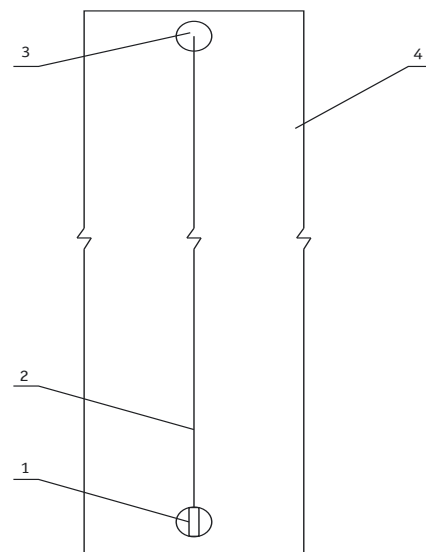


Рис. 1. Спосіб передавання одиниці фізичної величини — метра від еталонних ЗВТ до робочих для визначення великих лінійних розмірів з використанням базисного лінійного геодезичного полігону, (вид зверху):

- 1 — I -й базисний центр геодезичного полігону з установленим на ньому тахеометром,
- 2 — лазерний промінь (еталонна відстань між I -им та n -им базисним центром),
- 3 — n -й базисний центр геодезичного полігону з установленим на ньому відбивачем (трипільпризма),
- 4 — геодезичний полігон

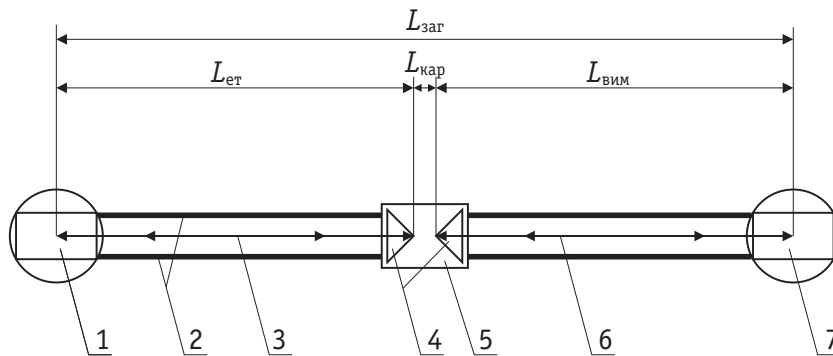


Рис. 2. Загальний вид спрощеної схеми запропонованої конфігурації (вид зверху):

$L_{\text{заг}}$ — відстань між місцями встановлення (осями обертання) еталонного тахеометра 1-го розряду і досліджуваного тахеометра,
 $L_{\text{ет}}$ — відстань між еталонним тахеометром та його відбивачем,
 $L_{\text{вим}}$ — відстань між досліджуваним тахеометром та його відбивачем,
 $L_{\text{кар}}$ — відстань між відбивачами, 1 — еталонний тахеометр,
 2 — паралельні рейки, 3 — лазерний промінь, що проходить від еталонного тахеометра до відбивача і назад, 4 — відбивачі,
 5 — каретка для переміщення відбивачів (трипеліпризм) за рейками,
 6 — лазерний промінь, що проходить від досліджуваного тахеометра до відбивача і назад, 7 — досліджуваний тахеометр

Проте, використовуючи еталонні ЗВТ 1-го розряду (еталонний тахеометр чи світловіддалемір), спеціальну систему дзеркал, конструкцію рейок та пересувної каретки, можливо відтворити в умовах лабораторії відстані, які перевищують довжину приміщення лабораторії шляхом складання прямого променя у зигзагоподібний спосіб.

Розглянемо спрощену схему запропонованої конфігурації. Еталонний тахеометр 1-го розряду і тахеометр, метрологічний контроль якого здійснюється, встановлені на протилежних кінцях приміщення лабораторії, направлені один до одного і вирівняні уздовж прямих паралельних рейок, на яких встановлено пересувну каретку з можливістю переміщення між ними. На останній у створі лінії-осі зорових труб тахеометрів встановлено два відбивача у виді трипеліпризм, що входять до складу тахеометрів. Відбивачі встановлені разом у конфігурації «один до одного» та направлені до зорових труб тахеометрів, відповідно кожен до своєї. Представлена конфігурація зводить до мінімуму похибку Аббе, оскільки немає бічного зсуву між вимірюваним променем (від досліджуваного тахеометра до відбивача з його комплекту) і вимірюваним (від еталонного тахеометра до відбивача з його комплекту).

Припустимо, що відстань між місцями встановлення (осями обертання) еталонного тахеометра 1-го розряду і досліджуваного $L_{\text{заг}} = 20$ м, найменша межа вимірювання обох тахеометрів $S_{\text{min}} = 1,4$ м, від-

стань між відбивачами, обумовлена конструктивними особливостями каретки, $L_{\text{кар}} = 0,1$ м.

Знайдемо верхню межу діапазону вимірювання під час метрологічного контролю тахеометра S_{max1} за заданих умов:

$$S_{\text{max1}} = L_{\text{заг}} - (S_{\text{min}} + L_{\text{кар}}) = 18,5 \text{ м.}$$

Отже, за таких умов можливо провести метрологічний контроль досліджуваного тахеометра в діапазоні від 1,4 до 18,5 м за прямої відстані між тахеометрами 20 м.

Для успішного використання представлені конфігурації еталонний ЗВТ 1-го розряду за ГОСТ 8.503 [1] має відповідати вимогам точності: довірча абсолютна похибка $\delta_a = (0,6 + 1 \cdot 10^{-6} L)$ мм, де L — довжина, що вимірюється.

Загальний вид запропонованої конфігурації представлено на рис. 2.

Як видно зі спрощеної схеми запропонованої конфігурації, за відсутності геодезичного полігону та наявності еталонного засобу вимірювання відстаней 1-го розряду можливо проводити метрологічний контроль тахеометрів в умовах приміщення лабораторії. Але, внаслідок невеликих розмірів приміщення лабораторії, запропонована конфігурація робить метрологічний контроль неефективним.

Для вирішення цієї проблеми запропоновано впровадити у представлену схему спеціальну систему дзеркал, що штучно збільшує довжину контрольованої лінії досліджуваного тахеометра шляхом складання прямого променя у зигзагоподібний спосіб.

Розміщення дзеркал для складання променя показано на рис. 3.

Перше дзеркало 3 встановлюється на лінії проходження променя 4 від досліджуваного тахеометра 5 під кутом 135° від площини, що утворює промінь 4. Далі, всі дзеркала 3 встановлюються за шляхом проходження променя 4 для отримання зигзагоподібної лінії. Останні дзеркала спрямовують отриманий промінь 4 на відбивач і назад до тахеометра. Важливо використовувати якомога більший бічний зсув дзеркал між послідовними шляхами променя за приміщенням лабораторії, щоб уникнути «перехресного» відхилення променя (проміжні відображення).

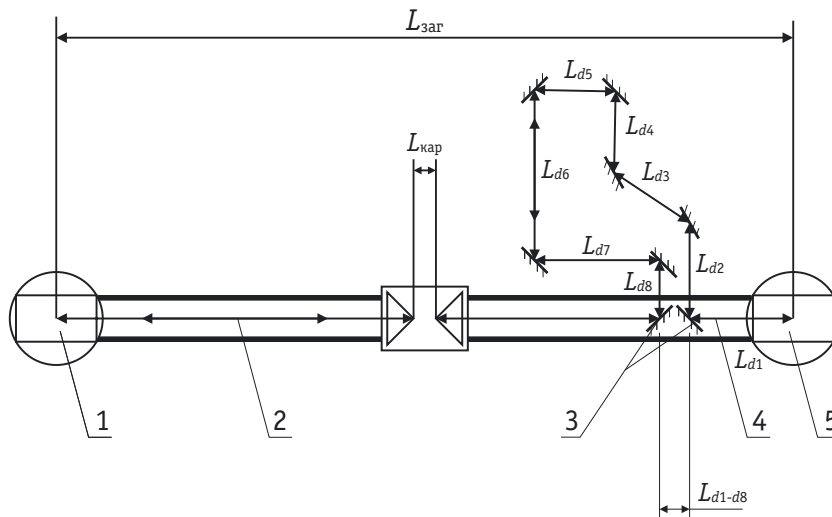


Рис. 3. Загальний вид запропонованої конфігурації зі системою дзеркал (вид зверху)

Обчислимо, наскільки збільшився діапазон вимірювання під час метрологічного контролю тахеометра за умовами впровадження у попередню конфігурацію 8 дзеркал згідно з рис. 3. Перше дзеркало міститься на відстані $L_{d1} = 2,81$ м від досліджуваного тахеометра, друге встановлено на відстані $L_{d2} = 2,60$ м від першого. Відстань від другого дзеркала до третього дорівнює $L_{d3} = 2,46$ м, від третього до четвертого $L_{d4} = 2,20$ м, від четвертого до п'ятого $L_{d5} = 2,20$ м, від п'ятого до шостого $L_{d6} = 4,62$ м, від шостого до сьомого $L_{d7} = 3,39$ м, від сьомого до восьмого $L_{d8} = 1,54$ м. Відстань між першим та останнім дзеркалом $L_{d1-d8} = 0,82$ м.

Знайдемо верхню границю діапазону вимірювання під час метрологічного контролю тахеометра $S_{\max 2}$ за таких умов:

$$S_{\max 2} = \sum_{i=1}^8 L_{di} + (L_{\text{зар}} - L_{d1} - L_{d1-d8} - L_{\text{кар}} - S_{\min}) = 36,69 \text{ м.}$$

Отже, за заданих умов можливо провести метрологічний контроль досліджуваного тахеометра в діапазоні від 1,4 до 36,69 м за прямої відстані між тахеометрами 20 м.

Виходячи з отриманих даних, можна зробити висновок, що використання системи дзеркал у кількості 8 одиниць за зазначеними вище умовами збільшує діапазон контролю відстаней під час метрологічного контролю тахеометра у 2 рази. Слід зазначити, що для пропонованого способу можна реалізувати практично будь-яку конфігурацію дзеркал, яка б задовольняла потребам метрологічного контролю тахеометрів. В указаний спосіб можливо встановити як декілька різних наборів дзеркал з різними відстанями між ними, так і складні інженерні рішення для «збирання» необхідної відстані з пред-

ставленого набору регульованих дзеркал безпосередньо під час проведення метрологічного контролю.

Очевидним недоліком є те, що розсіяний промінь, який прямує до відбивача, зменшується внаслідок відбиття від дзеркал на величину розміру дзеркала. Також не останню роль відіграє якість виконання поверхні дзеркала і його властивості відбивати з мінімальними втратами. Ці недоліки усуваються за допомогою установлення дзеркал достатнього розміру, для того, щоб вмістити прямий і відбитий промені без

втрати основного сигналу. Рекомендується використовувати дзеркала круглої форми діаметром, не меншим 70 мм, які використовуються у різних оптичних системах приладобудування. Оптимальним є використання діелектричних дзеркал, які можуть забезпечувати дуже великі коефіцієнти відбиття і мають велику оптичну стійкість, що важливо для запобігання оптичному пробою (розплавленню й абляції) матеріалу шарів дзеркала протягом тривалого часу.

Для ергономічного та ефективного проведення метрологічного контролю тахеометрів в умовах геодезичного полігону, внаслідок територіальної віддаленості базисних центрів один від одного, необхідні трудовитрати, як мінімум, двох спеціалістів з метою пересування відбивача від одного базисного центра до іншого і безпосереднього проведення вимірювання тахеометром. Запропонований варіант реалізації способу метрологічного контролю тахеометрів аналогічно потребує трудовитрат двох спеціалістів для одночасного зняття показань вимірювання на еталонному та досліджуваному тахеометрах. Але, за умов автоматизації переміщення каретки, використовуючи на еталонному тахеометрі стандартний режим вимірювання — «стеження», з автоматичним записом отриманих даних у пам'ять тахеометра, з'являється можливість проводити метрологічні роботи силами одного спеціаліста, що, у свою чергу, знижує трудовитрати під час метрологічного контролю тахеометрів.

ВИСНОВКИ

Проаналізувавши існуючі еталонні засоби метрологічного контролю тахеометрів, можна зробити висновок, що на сьогодні існує значна кількість проблем у процесах повірки та атестації тахеометрів:

➤ недостатність кількості повірочних лабораторій для метрологічного контролю тахеометрів (відсутність геодезичних полігонів у достатній кількості);

➤ метрологічний контроль кутомірної частини тахеометрів проводиться в умовах лабораторії, а віддалемірної частини — в умовах геодезичного полігону;

➤ транспортні витрати для доставки приладу на полігон і назад у лабораторію;

➤ час, потрібний для транспортування тахеометра;

➤ неможливість проведення якісного метрологічного контролю віддалемірної частини тахеометра у разі поганих погодних умов (снігу, дощу, сильного вітру);

➤ побудова геодезичних полігонів потребує великих людських і фінансових вкладень;

➤ побудова геодезичних полігонів потребує багато часу, виникає багато проблем із вдалим розташуванням таких полігонів та їх утриманням;

➤ існують додаткові грошові витрати на оренду землі для розташування геодезичних полігонів.


Для вирішення зазначених проблем пропонується новий спосіб метрологічного контролю тахеометрів та варіант його реалізації. Він об'єднує еталонні засоби для метрологічного контролю кутомірної і віддалемірної частин в єдиний вимірювальний комплекс та дозволяє проводити метрологічний контроль тахеометрів в умовах приміщення лабораторії.

Доведено, що за допомогою дзеркал можливо збільшити відстань, що контролюється, склавши її у зигзагоподібний спосіб. На прикладі наведено збільшення контрольованої відстані у 2 рази за допомогою 8 дзеркал, що утворюють єдину оптичну систему.

Не менш важливою новацією запропонованого варіанту реалізації способу метрологічного контролю тахеометрів є можливість об'єднання представленої конструкції з уже діючими автоколімаційними установками, які призначені для визначення та контролю метрологічних характеристик кутомірної частини тахеометрів, інших геодезичних ЗВТ. Для реалізації цього необхідно установити тахеометр, що досліджується, на предметному столі автоколімаційної установки, а рейки з кареткою та системою дзеркал — у зручний спосіб біля такої установки. Таке об'єднання еталонних засобів для метрологічного контролю кутомірної та віддалемірної частин тахеометра становить єдиний еталонний вимірювальний комплекс для перевірки тахеометрів у лабораторних умовах.

Запропонований спосіб не ставить за мету повну заміну існуючих еталонів, а дозволяє зробити додаткову ступінь контролю, що надасть можливість якісно та оперативно виконувати метрологічний контроль ЗВТ геодезичного призначення, які до цього часу не піддавалися процедурі перевірки, атестації чи калібрування, або існували значні перешкоди для здійснення такої процедури [9].

ЛІТЕРАТУРА

- ГОСТ 8.503-84. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от 24 до 75000 м. — Введ. 1985-07-01. — М.: Изд.-во стандартов, 1984. — 4 с.
- РТМ 68-8.12-85. Общие технические требования к образцовым базисам для контроля геодезических дальномеров. — Утв. ГУГК 1985-03-13. — М.: ЦНИИГАиК, 1985.
- Тревого І.С., Денисов О.М., Самойленко О.М. Контроль стабільності інтервалів взірцевого геодезичного базису // Геодезія, картографія і аерофотознімання. — 2007. — Вип. 69. — С. 60—62.
- Тревого І.С. Геодезический полигон для метрологической аттестации приборов и апробации технологий // Геопрофи. — 2009. — № 1. — С. 6—11.
- Друзюк В., Мазур А., Тревого І., Цюпак І. Сучасні геодезичні прилади і технології: науково-технічне метрологічне забезпечення // Метрологія та прилади. — 2010. — № 3. — С. 19—26.
- Коломієць Л.В., Подостроєць К.О. Аналіз метрологічного забезпечення геодезичних засобів вимірювальної техніки // Вісник інженерної академії України. — 2010. — № 1. — С. 253—255.
- ГОСТ 8.016-81 ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для измерений плоского угла. — Введ. 1982-07-01. — М.: Изд.-во стандартов, 1981. — 5 с.
- МПУ 164/01-2003. Інструкція. Метрологія. Нівеліри, теодоліти, тахеометри (кутомірна частина). — Увед. 2003-05-23. — К.: Укрметртестстандарт, 2003. — 31 с.
- Державна цільова науково-технічна програма розвитку топографо-геодезичної діяльності та національного картографування на 2011—2015 роки (Схвалено розпорядженням КМ України від 29.12.2010 № 2354-р). 



В. Яцук, доктор технічних наук, професор кафедри метрології, стандартизації, сертифікації,

П. Бугайцова, аспірант кафедри,

Ю. Яцук, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютеризованих систем автоматики,
Національний університет «Львівська політехніка»

Проаналізовано особливості отримання послуг теплопостачання в повному обсязі та відповідної якості, встановлено вимоги до технічних параметрів моніторингу та реєстрації якості послуг із теплопостачання.

Розглянуто можливості оперативного калібрування та метрологічної перевірки засобів моніторингу та реєстрації якості послуг із теплопостачання на місці експлуатації. Розроблено пропозиції до створення сучасних систем індивідуального обліку спожитого тепла на основі високоефективних засобів моніторингу та реєстрації послуг із теплопостачання індивідуальних споживачів у багатоквартирних будинках з колективним принципом тепlopідведення.

Показано доцільність і шляхи інтегрування таких засобів у системи обліку спожитого тепла. Проведений аналіз метрологічних властивостей підтвердив можливість контролювання, реєстрації та передавання значень якісних показників послуги з теплопостачання у реальному масштабі часу.

Peculiarities of getting heating supply services of the appropriate quality in the full scope have been analyzed. The demands for the technical monitoring parameters and registration of heating supply services quality have been determined. Possibilities of rapid calibration and metrological verification of monitoring means on the exploitation place have been examined. The suggestions on creating modern systems for individual records of heating energy consumption on the basis of highly effective means for monitoring and registration of heating supply services at individual consumers living in apartment houses with the collective principle of heating supply have been made. The authors have pointed out the appropriateness and ways of such means integration into the systems for recording heating energy consumption, the main purpose of which will be rapid calculation of the heating energy consumption amount with taking into account the quality indicators and possibilities of wireless communications and contemporary microelectronic base. The performed analysis of metrological characteristics has confirmed the possibility for monitoring, recording and transferring the values of quality indicators at heating supply services in real-time.



В. Яцук



П. Бугайцова



Ю. Яцук

Дослідження належать до сфери індивідуального обліку спожитого тепла у багатоквартирних будинках та його метрологічного забезпечення. Основною стратегічною метою енергозаощадження в житлово-комунальному господарстві України є підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів за рахунок сучасних схем і систем енергопостачання, приладів і пристроїв, які використовують тепло та енергію, зниження втрат енергоносіїв, що сприятиме повнішому задоволенню попиту населення на житлові, комунальні та побутові послуги [1]. Основна частина житлового фонду має централізоване постачання енергоносіями, причому за багатопідвідним колективним принципом. Фізичне зношування будинків та устаткування призводить до зростання енергоспоживання, і на сьогодні не розроблено стандартизованих методів та методик, які б об'єктивно (через економічні показники) стимулювали кожного індивідуального споживача до всебічної економії енергоносіїв. Нині масово встановлюються лічильники спожитих тепла, природного газу, холодної та гарячої води. Однак, постачання енергоносіями не є завжди ритмічним, їхні якісні показники об'єктивно не контролюються, що призводить до порушення прав споживачів і унеможливорює реалізацію Постанови Кабінету Міністрів України від 21.07.2005 № 630 стосовно контролювання якості послуг із теплопостачання [2]. Існуючі індивідуальні лічильники енергоносіїв є морально застарілими, мають недостатньо високий клас точності для комерційного обліку, не контролюють якості надаваних послуг з енергопостачання, не дозволяють автоматизувати процеси обліку, контролю, діагностування працездатності та розрахунків за спожиті енергоносії.

Об'єктивним стимулом для всебічної економії в ринкових умовах завжди буде індивідуальний облік спожитої теплової енергії за можливості регулювання, знову ж таки індивідуального, і, як показує досвід зарубіжних країн, комплексний підхід до енергозаощадження дозволяє економити до 25 % споживаних енергоносіїв [3].

За традиційних схем теплопостачання для індивідуального обліку найпростіше встановлювати витратоміри теплоносія шляхом врізування в існуючу теплотрису [4]. Очевидно, що такий шлях вирішення проблеми індивідуального обліку є економічно не вигідним, оскільки, окрім вимірювання витрат, технічно достатньо складно вимірювати різницю між середньою температурою опалювального пристрою (ОПр) та середньою температурою приміщення.

Сьогодні для спрощення реалізації обліку без врізування у мережу використовуються індивідуальні для ОПР лічильники тепла, засновані на вимірюванні не тепла, а певного фактора, який достовірно можна співвіднести до кількості спожитого тепла. Насамперед, це лічильники, побудовані на випаровуванні рідини [5]. Точність таких лічильників є невисокою, експериментальні дослідження показали, що значення їхніх похибок може сягати 60 % [6]. Інший принцип засновано на вимірюванні однієї температури — температури ОПР, і його можна реалізувати у спосіб, запропонований в [7], з можливістю дистанційного контролю за споживанням тепла.

Точнішим є метод вимірювання двох температур — ОПР та температури, яку умовно можна назвати температурою повітря у приміщенні [8, 9]. Використання таких лічильників в Україні затримується їх ціною, можливо, у першу чергу, відсутністю індивідуального регулювання споживання теплової енергії, невисокою точністю [6] та певного несанкціонованого доступу до нього. За багатоувідного однотрубного принципу побудови систем в одному приміщенні опалювання може одночасно здійснюватися від декількох трубопроводів (стояків). При цьому зростає й кількість потрібних приладів вимірювання, й їх придбання та встановлення є значною економічною проблемою для багатьох громадян України, окрім того, для його впровадження потрібна згода усіх без винятку мешканців будинку. Такий метод і у розвинених країнах, і в Україні є вимушеним — вирішується проблема для існуючого житлового фонду і, на наш погляд, не слід переносити такий метод обліку на житлові будинки, які проєктуються. Слід відзначити, що і цей метод не позбавлений похибок, — теплообмін визначається не температурою в одній точці ОПР (не завжди правильно обраній), а є складним процесом, результат якого залежить від розподілу температури за поверхнею ОПР та температур як повітря, так і огороженя [10] (стін, вікон) у приміщенні.

Запропоновано також розглядати будинок як витратомір підведеної теплової енергії з використанням системи рівнянь теплового балансу та результатів вимірювання температур уздовж стояків (у кожній квартирі) та між сусідніми кімнатами, визначення теплоспоживання за виміряними різницями температур, складання теплового балансу та порівняння його з показаннями колективного теплотічильника [11]. Цей напрям вимагає використання багатоканальної матричної системи вимірювання температур у кожному з опалюваних приміщень і, за умови використання традиційних провідникових комунікацій,

є достатньо складним у практичній реалізації. Окрім того, не розглянуто питання метрологічного забезпечення таких систем обліку спожитого тепла.

Отже, існуючі системи індивідуального обліку тепла у багатоквартирних будинках не відповідають сучасним вимогам за точністю, собівартістю, організацією й управлінням теплопостачанням у житлово-комунальному господарстві.

Важливим завданням сучасних систем індивідуального обліку спожитого тепла є розроблення пропозицій до створення високоефективних засобів моніторингу та реєстрації послуг із теплопостачання (ЗМРТ) індивідуальних споживачів у багатоквартирних будинках з колективним принципом теплопідведення. Ці засоби доцільно інтегрувати у системи обліку спожитого тепла, основним змістом яких буде оперативний облік кількості спожитої теплової енергії з урахуванням її якісних показників, можливостей безпроводних комунікацій, сучасної мікроелектронної бази.

УСТАНОВЛЕННЯ ВИМОГ ДО МЕТРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ТА РЕЄСТРАЦІЇ

Очевидно, що діапазон вимірювання (контролю) температури в опалюваних приміщеннях із урахуванням можливих змін температури довкілля може становити $(0-50)^\circ\text{C}$, причому в діапазоні температур від $+5$ до $+22^\circ\text{C}$ точність має бути якомога вищою [2]. Ідеальним рішенням відносно метрологічних характеристик комерційних пристроїв обліку є обмеження його похибок значенням, не більшим від похибки дискретності підрахунку коштів за спожитий енергоресурс [12, 13]. Значення цієї абсолютної похибки дискретності не перевищує половини найменшої грошової одиниці $\pm\Delta_{\text{ГО}}$, що використовується в певній державі. Значення коштів за спожитий енергоресурс визначається об'ємом, тарифами та періодичністю оплати за нього (зазвичай місяць). З метою оцінювання вимог до точності візьмемо за основу середньосезонну та середньостатистичну вартість оптимальної оплати за тепло споживання мешканцями об'єднання співвласників багатоквартирного будинку (ОСББ) «Біла парку» у м. Львові, в якому встановлено як колективний теплолічильник (КТЛ), так і систему погодного регулювання теплоспоживання, і яка за опалювальний сезон 2012/2013 років становила $B_{\text{ТМ}} = 200$ грн/міс. Тоді відносна похибка КТЛ $\delta_{\text{КТЛ}}$, що використовується для комерційного обліку тепла, не має перевищувати $\delta_{\text{КТЛ}} \leq \pm 0,5 \Delta_{\text{ГО}} / B_{\text{ТМ}} = \pm 0,0025 \%$, що на сьогодні є недосяжним для будь-яких типів сучасних КТЛ, які

використовуються для комерційного обліку тепла [14]. Тому проведений аналіз показав, що метрологічні параметри засобів вимірювальної техніки для вимірювання параметрів якості послуг з теплопостачання доцільно встановлювати, базуючись на класі точності колективних теплолічильників, використовуваних для обліку спожитого будинком тепла, та проведення на підставі їхніх показань комерційних розрахунків з теплопостачальником [13]. Межа допустимих значень похибки сучасних колективних теплолічильників не має перевищувати $\delta_{\text{ТЛ}} \leq \pm 2 \%$ [14]. Тоді, з метою нехтування похибками $\delta_{\text{ЗПТ}}$ ЗМРТ, під час підрахунку вартості оплати наданої послуги, з урахуванням відомого в метрології критерію малості, приймемо, що межа допустимих значень їхніх похибок має бути у декілька разів меншою від межі допустимих значень похибки теплолічильника $\delta_{\text{ЗМРТ}} \leq \pm 0,2 \delta_{\text{КТЛ}} = \pm 0,4 \%$. Тоді абсолютне значення похибки вимірювання температури в приміщенні не має перевищувати $\Delta\theta_{\text{доп} \times \text{кім}} \leq \pm 0,4 \cdot 10^{-2} \cdot 20^\circ\text{C} = \pm 0,08^\circ\text{C}$. Настільки мале значення похибки вимірювання температури робить проблематичним побудову малогабаритних, дешевих та прецизійних ЗМРТ, оскільки навіть найточніші серійні платинові термоперетворювачі опору (Т0) класу А у цьому температурному діапазоні мають межу допустимих значень похибки $\Delta\theta_{\text{доп}} \leq \pm 0,3^\circ\text{C}$.

ВИБІР ТИПУ СЕНСОРА

Очевидно, що, окрім необхідних точності та чутливості, дуже важливими технічними показниками є малі собівартість, масогабаритні показники та енергоспоживання температурних сенсорів та потенційна простота сполучення зі сучасними мікроелектронними та інформаційно-комунікаційними компонентами вторинних приладів (ВП). Традиційні неелектричні сенсори, пов'язані з термічним розширенням газу, рідин або твердих тіл, не задовольняють поставлених вимог. Волоконно-оптичні сенсори мають незадовільні точність та чутливість, у сенсорах на поверхневих акустичних хвилях спостерігаються достатньо значні флуктуації сигналу до $\pm 0,2^\circ\text{C}$, і обидва ці типи сенсорів суттєво ускладнюватимуть ВП [15]. Тонкоплівкові термоелектричні сенсори мають недостатню точність і потребують використання диференціальних схем увімкнення, а напівпровідникові мають до того ж великий розкид характеристик [15]. Термістори мають великий розкид характеристик, а шумові резистивні сенсори — надто малу чутливість [15]. Термотранзисторні та термодіодні мікроелектронні сенсори характеризуються

високими чутливостями та простотою сполучення із ВП, однак мають нелінійність на рівні декількох десятих кельвіна та значний технологічний розкид від зразка до зразка [15].

Аналіз показує, що для використання у ЗМРТ найдоцільніше використовувати високоомні плівкові платинові термперетворювачі опору (ПТО), оскільки вони характеризуються достатньою чутливістю і високою часовою стабільністю та практичною інваріантністю до впливу зміни опорів з'єднувальних провідників, наприклад, з ПТО за номінальної статичної характеристики перетворювання (НСХ) 1000П [16, 17]. З метою коригування інструментальної похибки конкретного типу ПТО найдоцільніше використовувати метод уведення поправок [18], які можна увести за результатами метрологічної перевірки ЗМРТ або шляхом їх калібрування, наприклад, на місці експлуатації з використанням прецизійних термометрів. Аналіз показує, що у ЗМРТ доцільніше використовувати метод калібрування на місці експлуатації, оскільки у такому випадку можна скоригувати значення еквівалентної адитивної складової похибки (АСП) шляхом адитивного підстроювання. З метою забезпечення високих точності та чутливості, за умови якомога простішої апаратної реалізації, слід віднімати початкове значення опорів R_0 ПТО відразу на вході пристрою, яке зазвичай найпростіше реалізується на основі мостової вимірювальної схеми [18, 19].

ВИМІРЮВАЛЬНА ЧАСТИНА

ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ТА РЕЄСТРАЦІЇ ЯКОСТІ ПОСЛУГ ІЗ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Завдяки комплексу хороших технічних характеристик на сьогодні немає альтернативи використанню прецизійних та відносно недорогих АЦП фірми Analog Device, наприклад, типів AD7788-AD7790, які можуть працювати від батарейного живлення напруг у діапазоні (2,7—5,5) В, за струму споживання 75 мкА (1 мкА у стані очікування), 16-бітної роздільної здатності, можливості суттєвого послаблення завад частотою 50 та 60 Гц, програмованого коефіцієнта передавання (до 8) [20]. З урахуванням виконаного аналізу структурну схему ЗМРТ можна побудувати на базі незрівноваженого моста, в одній послідовній ланці відносно живлення R_0 та струмозадавальних резисторів R_{N1} , R_{N2} , на частині якого R_{N21} формується опорна для АЦП напруга U_N друга ж послідовна гілка формує напругу U_0 , пропорційну до значення початкового опорів ПТО (рис. 1) [21]. Код N_X вимірюваної температури в опалюваному приміщенні визначимо як

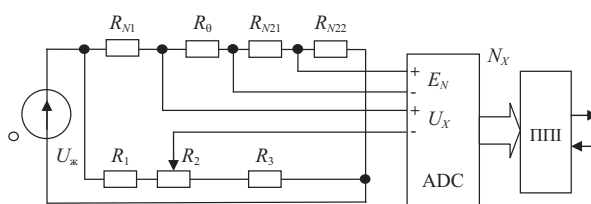


Рис. 1. Структурна схема засобу моніторингу та реєстрації якості послуг із теплопостачання з бездротовим передаванням інформації

$$N_X = k_{ADC} \frac{U_0}{U_N} = \frac{k_{ADC}}{R_{N21}} \left[(R_0 + R_{N2}) - (r_2 + R_3) \frac{R_{\Sigma1}}{R_{\Sigma2}} \right], \quad (1)$$

де $U_0 = U_{\text{ж}} \left(\frac{R_0 + R_{N2}}{R_{\Sigma1}} - \frac{r_2 + R_3}{R_{\Sigma2}} \right)$ — вхідна напруга

АЦП; $U_N = U_{\text{ж}} \frac{R_{N21}}{R_{\Sigma1}}$ — опорна напруга АЦП;

$R_{N2} = R_{N21} + R_{N22}$; $R_{\Sigma1} = R_{N1} + R_0 + R_{N2}$; $R_{\Sigma2} = R_1 + R_2 + R_3$; R_2 , r_2 — повний опір та частина опору між резистором R_3 та повзунком змінного резистора; k_{ADC} — коефіцієнт перетворення АЦП; $R_0 = R_0 \pm \Delta R_0$ — опір ПТО; ΔR_0 — зміна опорів ПТО під час зміни температури.

Особливістю використання ЗМРТ є те, що вони призначені для прецизійного вимірювання температури у відносно вузькому температурному діапазоні від +5 до 25 °С [2] (хоча можуть використовуватися як вимірювачі кімнатної температури навіть за відсутності опалення) і, зазвичай, як вимірювачі відхилення температури від стандартної кімнатної + 20 °С, при цьому опір ПТО зручно подати як $R_0 = R_{020} + \Delta R_{020}$, де $R_{020} = R_0 (1 + A \cdot 20 + B \cdot 20^2)$ — опір ПТО за 20 °С, A , B — коефіцієнти температурної залежності платинових ПТО, $\Delta R_{020} = R_0 \cdot \Delta \theta [A + B(40 + \Delta \theta)]$, $\Delta \theta = \theta - 20$, θ — вимірювана температура, причому максимальне значення $\Delta \theta = -15^\circ\text{C}$ і ΔR_{020} не перевищуватиме 6 % від значення R_0 . Тоді із урахуванням параметрів неідеальності АЦП [20], код N_X перепишемо у виді:

$$N_X = \frac{k_{ADC}}{R_{N21}} \left\{ \left[(R_{20} + R_{N2}) - (r_2 + R_3) \frac{R_{\Sigma120}}{R_{\Sigma2}} \right] + \Delta R_{020} \left(1 - \frac{r_2 + R_3}{R_{\Sigma2}} \right) + \frac{e_X}{U_{\text{ж}}} \cdot \frac{R_{\Sigma1}}{R_{N21}} \right\} \left(1 + \frac{e_N}{U_{\text{ж}}} \cdot \frac{R_{\Sigma1}}{R_{N21}} \right), \quad (2)$$

де $R_{\Sigma120} = R_{N2} + R_{020}$;

$$e_{XIN} = e_{XIN} + \left[I_{XIN}^+ \frac{R_{N1} (R_0 + R_{N2})}{R_{\Sigma1}} - I_{XIN}^- \frac{(R_1 + R_2 - r_2)(r_2 + R_3)}{R_{\Sigma2}} \right] —$$

еквівалентна вхідна напруга зміщення АЦП; e_{XIN} —

вхідна напруга зміщення АЦП; I_{XIN}^+ , I_{XIN}^- — вхідні струми відповідно неінвертувального та інвертувального входів перетворюваної напруги АЦП, відповідно;

$$e_N = e_{NIN} + \left[\begin{array}{c} I_{NIN}^+ \frac{R_{N22} (R_{N1} + R_0 + R_{N21})}{R_{\Sigma 1}} - \\ - I_{NIN}^- \frac{(R_0 + R_{N1}) R_{N2}}{R_{\Sigma 2}} \end{array} \right] — \text{еквіва-}$$

лентна напруга зміщення входу опорної напруги АЦП; e_{NIN} — напруга зміщення входу опорної напруги АЦП; I_{NIN}^+ , I_{NIN}^- — вхідні струми відповідно неінвертувального та інвертувального входів опорної напруги АЦП.

За допомогою змінного резистора R_2 під час калібрування або метрологічної перевірки ЗМРТ добиваються рівності нулю виразу в квадратних дужках виразу (2). Цю операцію найдоцільніше здійснювати за допомогою еталонного приладу, який вимірює температуру в тому ж приміщенні, де встановлено перевірюваний ЗМРТ.

З метою забезпечення встановлених вимог до точності ЗМРТ, за одночасного послаблення вимог до інструментальних похибок використовуваної елементної бази у ЗМРТ, доцільно використовувати один із найпростіших у практичній реалізації метод уведення поправок [18, 19]. Його можна реалізувати як у цифровій, так і в аналоговій формі (рис. 1).

Недоліком аналогового підстроювання є мультиплікативна залежність коду N_X результату вимірювання від положення повзунка змінного резистора R_2 . Однак, у випадку підстроювання за еталонним термометром на місці експлуатації можна скоригувати як адитивну, так і мультиплікативну складові похибки ЗМРТ. При цьому важливо забезпечити необхідну дискретність підстроювання, яка залежатиме від характеристик змінного резистора та може суттєво змінюватися з часом, що відповідно спричинятиме похибки ЗМРТ. Тому цифрове коригування адитивної складової похибки (АСП) забезпечуватиме вищу точність та стабільність ЗМРТ. Таке підстроювання залежно від зміни значень коду може реалізовуватися різними способами, серед яких звичайно ж найзручнішим є використання в контролері реверсивних лічильників, органи керування якими у виді кнопок конструктивно виведено на корпус ЗМРТ, і який дозволяє шляхом їх увімкнення збільшувати або зменшувати вміст лічильника результату. Оцінимо можливі значення межі підстроювання, які визначатимуться інструментальними похибками елементів ЗМРТ. Для цього подамо дійсне значення кожного із елементів через номінальне значення та відносну похибку. Тоді граничне значення $\Delta N_{\text{гр}}$

похибки ЗМРТ оцінимо таким виразом (у випадку цифрового коригування похибок і відсутності змінного резистора R_2)

$$\Delta N_{\text{гр}} = \frac{k_{ADCH}}{k_{N21H}} \left[\Delta_{AX} + \Delta R_{020H} \left(1 - \frac{R_{3H}}{R_{\Sigma 2H}} \right) \delta_{SX} \right], \quad (3)$$

де нижніми індексами «Н» позначено номінальне значення відповідної величини; Δ_{AX} , δ_{SX} — відповідно АСП та коефіцієнт при мультиплікативній складовій похибки (МСП);

$$\begin{aligned} \Delta_{AX} = & \frac{R_{3H}}{R_{\Sigma 1H}} R_{N1H} \delta_{N1} + \left(\frac{R_{3H}}{R_{\Sigma 1H}} + 1 \right) \times \\ & \times (R_{20H} \delta_{20} + R_{N21H} \delta_{21} + R_{N22H} \delta_{22}) + \\ & + \frac{R_{3H}}{R_{\Sigma 2H}} R_{1H} \delta_1 + \frac{R_{\Sigma 2H} - R_{3H}}{R_{\Sigma 2H}} R_{3H} \delta_3 + \frac{e_X}{U_{\text{ж}}} \cdot \frac{R_{\Sigma 1H}}{R_{N21H}} — \end{aligned}$$

АСП ЗМРТ; δ_{N1} , δ_{21} , δ_{22} , δ_1 , δ_3 — відповідно похибки резисторів R_{N1} , R_{N21} , R_{N22} , R_1 , R_3 мостової схеми; δ_{20} — відносна похибка опору R_{20} ПТО за температури 20 °С; δ_k — відносна похибка коефіцієнта перетворення АЦП.

Детальніший аналіз показує, що діапазон адитивного підстроювання показань ЗМРТ, у околі температури 20 °С, за значення вимірюваного струму ПТО, не більшого 0,1 мА, напруги живлення $U_{\text{ж}} = 2,5$ В, для АЦП типів AD7788, AD7789, AD7790 [20] не перевищуватиме ± 100 одиниць молодшого розряду, і загалом є прийнятним використовувати реверсивне цифрове підсумовування з частотою заповнення лічильника результату в декілька герц.

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ТА РЕЕСТРАЦІЇ

Аналіз умов експлуатації ЗМРТ показує, що основними процедурами метрологічного забезпечення є калібрування та метрологічна перевірка. Калібрування ЗМРТ як масових приладів пропонується здійснювати безпосередньо на місці експлуатації за допомогою еталонного цифрового термометра (ЕЦТ). Ураховуючи інерційність системи опалення багатоквартирного будинку, реєстрацію та передавання даних стосовно контрольованої температури можна здійснювати згідно з періодичністю до декількох десятків хвилин, тому й калібрування ЗМРТ на місці експлуатації можна здійснювати у будь-яку пору року. Найкраще це проводити перед опалювальним сезоном, при цьому слід упевнитися у стабілізації показань ЕЦТ та здійснити підстроювання показань каліброваного ЗМРТ.

Метрологічну перевірку ЗМРТ доцільно проводити під час метрологічної перевірки будинкових

колективних теплолічильників. Для метрологічної перевірки ЗМРТ на місці експлуатації доцільно використовувати прецизійні переносні термостати з діапазоном зміни температури + (5—25) °С, точністю встановлення значень температури у декілька сотих кельвіна або прецизійний ЕЦТ та термостат, наприклад, [22—24].

ВИСНОВКИ

На підставі критичного аналізу нормативно-технічного забезпечення зроблено висновок щодо необхідності урахування якісних показників під час

обліку спожитого тепла індивідуальними споживачами, що створюватиме об'єктивні економічні стимули для всебічної його економії.

Установлено вимоги до технічних параметрів та запропоновано структуру ЗМРТ.

Проведений аналіз метрологічних властивостей підтвердив можливість контролювання, реєстрації та передавання значень якісних показників послуг з тепlopостачання у реальному масштабі часу.

Розглянуто можливості оперативного калібрування та метрологічної перевірки ЗМРТ на місці експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бакалін Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: навч. посіб. для студ. ВНЗ. — 3-тє вид., доп. та перероб. — Х.: Бурун і К, 2006. — 319 с.
2. Постанова КМУ «Про затвердження Правил надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення та типового договору про надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення» від 21.07.2005 №630.
3. Житлово-комунальне господарство України: проблеми моніторингу стану реформування і розвитку Електронний ресурс. Режим доступу: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/Dums/2012_3/12kmsrr.pdf
4. Лозбін В.І., Столярчук П.Г., Засименко В.М., Яцук В. О., Плавинська Т.О. Теплотехнічні аспекти обліку витрат теплової енергії індивідуальними споживачами // Вісник ДУ «Львівська політехніка», «Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація». — 1999. — № 365. — С. 88—91.
5. Випаровувальний розподільувач тепла EXEMPER. Рекламний проспект фірми DOPRIMO, 2010. — 2 с.
6. Золотавкін В.М., Кабачій В.В. Структурні методи підвищення ефективності тепlopостачання житлових будинків // Матеріали 6 міжнар. конф. КУСС-2001. — Т. 2. — Вінниця, 2001. — С. 70—74.
7. Lukasiewicz P. Ogrzewanie, nawilżanie, jonizacja powietrza i rozliczanie kosztów ciepła (Опалювання, зволоження, іонізація повітря і визначення вартості опалення) // Materiały konferencyjne «Problemy jakościowe, energetyczne i eksploatacyjne w maszynach cieplnych», 19—20 września 2002, Bydgoszcz, Polska. — S. 179—189.
8. Електронні теплолічильники DOPRIMO. Рекламний проспект фірми DOPRIMO, 2012. — 2 с.
9. Дубовой В.М., Кабачій В.В. ІВС тепlopостачання житлових будинків // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 1998. — № 2. — С. 160—163.
10. Сканава А.Н. Конструирование и расчет систем водяного и воздушного отопления зданий. — М.: Стройиздат, 1983. — 304 с.
11. Столярчук П., Яцук В., Лозбін В., Голюка Б. Проблеми обліку теплової енергії індивідуальними споживачами // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2006. — № 1. — С. 43—50.
12. Столярчук П.Г., Яцук В.О., Василюк В.М. Вимоги до побудови комерційних лічильників нафтопродуктів // 36. наук. праць «Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини» СИЗТ5-99. — Вип. № 5. — Київ: Фада ЛТД. — 1999. — С. 88—90.
13. Голюка Б., Столярчук П., Яцук В. Покращання якості лічильників гарячої води // Вимірювальна техніка та метрологія. — 2003. — № 62. — С. 101—104.
14. Directive 2004/22/EC of the European Parliament and of the Council of 31 March 2004 on measuring instruments (Директива 2004/22/EC Європейського парламенту і комісії від 31.03.2004 стосовно вимірювальних приладів). — Official Journal of the European Union, L 135/1. 31.04.2004.
15. Smart Sensor Systems (Інтелектуальні сенсорні системи), edited by Gerard C.M. Mejer, John Wiley & Sons, Ltd, 2008. — 381 p.
16. Каталог ELFA. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://www.elfaelektronika.com>.
17. Каталог фірми Susumu Group Corporations, Thin Film Products (Тонкоплівкова продукція). Електронний ресурс. Режим доступу: <http://www.susumu.co.jp>
18. Яцук В., Малачівський П. Методи підвищення точності вимірювання. Львів: Вид-во «Бескид Біт», 2008. — 358 с.
19. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О., Ванько В.М.,

- Бойко Т.Г.; за ред. проф. Поліщука Є.С. — 2-е вид., доп. та переробл. — Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. — 544 с.
20. Каталог фірми Analog Device. Електронний ресурс. Режим доступу: www.analog.com.
21. Яцук В., Бугайцова П., Яцук Ю. Засоби підвищення якості надання послуг із теплопостачання / 36. тез доповідей міжнар. науково-практичної конф. «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 22—24 травня 2013 року. — Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2013. — С. 262—263.
22. Fluke-Hart Scientific Model 9100S/9102S Dry-Well Temperature Calibrators (Калібратори температури моделей 9100S/9102S). Електронний ресурс. Режим доступу: www.instrumat.com/products/21210/fluke-hart-scientific-model9100s9102s-dry-well-temperature-calibrators
23. 3600 Digital Temperature Calibrator (Цифровий калібратор температури типу 3600). Електронний ресурс. Режим доступу: www.indiamart.com/askib-engineers/calibrators.html
24. T150 High Precision Temperature Field Calibrator (Високоточний переносний калібратор температури). Електронний ресурс. Режим доступу: www.palmerwahl.com/product_home.php?itm=5961 ■

II МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ «ВИМІРЮВАННЯ, КОНТРОЛЬ ТА ДІАГНОСТИКА В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ» 29—31 ЖОВТНЯ 2013 РОКУ, ВІННИЦЯ

Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет, Академія метрології України, Новий університет Лісабону, Технічно-гуманітарна академія м. Бельсько-Бяло (Польща), ДП НДІ «Система», ДП «Вінницький науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації», Учбово-науковий центр «Паллада»

Конференція присвячена пам'яті завідувача кафедри метрології та промислової автоматики ВНТУ, доктора технічних наук, професора Поджаренка В.О.

Голова наукового комітету — Грабко В.В., д.т.н., професор, ректор ВНТУ;

Заступники голови — Володарський Є.Т., д.т.н., проф. (Україна, Київ, Академія метрології України);

Igor Piotr Kurytnik, prof., dr hab. Inz. (Poland, University of Bielsko-Biala).

Напрямки роботи конференції:

- Теоретичні основи вимірювань, контролю та технічної діагностики.
- Первинні вимірювальні перетворювачі та сенсори.
- Прилади та методи контролю речовин, матеріалів та виробів.
- Метрологічне забезпечення засобів вимірювань, контролю та діагностики.
- Метрологія та кваліметрія.

- Стандартизація та сертифікація, випробування та надійність.
- Проблеми освіти в області метрології, метрологічного забезпечення, контролю та діагностики.
- Математичне моделювання процесів у засобах вимірювання, контролю та діагностики.
- Інформаційно-вимірювальні системи.
- Біотехнічні та медичні прилади і системи.
- Невизначеність вимірювань.

Робочі мови конференції: українська, російська, англійська.

Тези доповідей буде опубліковано на сайті конференції до початку роботи конференції та у виді збірника праць. Матеріали доповідей, *виголошені на конференції та рекомендовані до публікації*, — у фахових виданнях, включених до переліку ДАК України або міжнародних наукометричних баз даних.

Подання тез та заявок — до 20 вересня

Повідомлення щодо включення до програми конференції — до 1 жовтня

Оплата реєстраційних внесків — до 10 жовтня

Початок реєстрації — 28 жовтня о 9:00

Відкриття конференції — 29 жовтня

Матеріали надсилати за адресами:

measurement.vntu@gmail.com

д.т.н., проф. Кучеруку В.Ю.

кафедра метрології та промислової автоматики,

Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95,

м. Вінниця, 21021, Україна

Довідки за телефоном: Тел.: (0432)-598672,
Коломійчук Інна Вікторівна (відповідальний секретар)

Інформація на сайтах:

<https://sites.google.com/site/measurementvntu/>

<http://www.inaeksu.vntu.edu.ua/mpa/>

<http://conf.vntu.edu.ua/measurement/2013/>

УДК 53.088:531.75:662.62/67

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

ДІЙСНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ТВЕРДОГО МІНЕРАЛЬНОГО ПАЛИВА

А. Чернявський, генеральний директор,

Т. Моцак, заступник генерального директора,

Л. Уткіна, провідний інженер,

ДП «Укрвуглеякість», м. Донецьк,

Е. Голованчикова, студентка фізико-технічного факультету,
Донецький Національний університет

Розглянуто методику оцінювання невизначеності вимірювань дійсної щільності твердого мінерального палива, наведено схему виконання вимірювань. Для визначення факторів, що впливають на зазначену невизначеність, застосовано статистичний метод — причинно-наслідкову діаграму Ісікави, складено бюджет невизначеності на метод, представлено розрахунки стандартної сумарної й розширеної невизначеностей.

Considered methodology for uncertainty evaluation measuring hard mineral fuel actual closeness, a chart over of measuring implementation is brought. For determination of factors influenced on the marked uncertainty, a statistical method is applied — causally-investigatory diagram of Isikavy, formed uncertainty budgeted on the method, presented calculations for standard total and extended, uncertainties.

Поглиблення міжнародних зв'язків зумовили актуальність завдання порівняності й взаємного визнання результатів, отриманих у різних лабораторіях, у різний час. Прагнення уникнути дублювання у міжнародній системі лабораторій набуває значного економічного значення у сучасному світі.

Визначення дійсної щільності вугільної продукції здійснюється в аналітичних вуглехімічних лабораторіях. На сьогодні для багатьох із них залишається найчастіше проблемним провести оцінювання невизначеності вимірювань застосовуваних методик виконання вимірювань. Оцінення невизначеності результатів, як і демонстрація їх метрологічної простежуваності (одне неможливе без іншого), входить до числа вимог, пропонованих випро-

бувальним лабораторіям міжнародним стандартом ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [1], який становить основу для акредитації аналітичних лабораторій на технічну компетентність.

Випробувальний центр ДП «Укрвуглеякість» у листопаді 2012 року втретє пройшов акредитацію в НААУ за ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Із 2006 року розрахунки невизначеності вимірювань застосовуваних методів у випробувальному центрі виконуються згідно з вимогами НААУ. У 2009 році розроблено інструкції стосовно оцінювання невизначеності вимірювань для всіх застосовуваних методів випробувань відповідно заявленої сфери акредитації. Під час складання бюджету невизначеності детально описано всі джерела (фактори), що впливають

на проведення випробувань за конкретною методикою, визначено методи їх оцінювання й розрахунки. В основу визначення факторів й їх оцінювання покладено прості статистичні методи: причинно-наслідкову діаграму Ісікави, діаграму Паретто [2].

СТАДІЇ ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

Для визначення основних джерел невизначеності вимірювань (на вході) проводиться аналіз методу визначення дійсної щільності відповідно до ГОСТ 2160-92 [3].

Сутність його полягає у визначенні маси й об'єму випробуваної проби палива зважуванням у повітрі й пікнометричній рідині.

Блок-схему проведення випробувань наведено на рис. 1.

Дійсну щільність палива у сухому стані d_r^d , г/см³ обчислюють за формулою:

$$d_r^d = \frac{m(1 - W^a/100)Q_p}{m(1 - W^a/100) - m_2 - m_4} = \frac{m_1 Q_p}{m_1 + m_2 - m_4} = \frac{m_1 W_1 Q_p}{100 m_0}, \quad (1)$$

де m — маса навіски палива, г; $m_{\text{п}}$ — маса пікнометра з дистильованою водою за температури 20 °С, г; m_1 — маса порожнього пікнометра, г; m_2 — маса пікнометра з розчином змочувача, г; m_4 — маса пікнометра з навіскою палива й розчином змочувача, г; W^a — масова частка води в аналітичній пробі палива, що визначається ГОСТ 11014; Q_p —

густина розчину змочувача, умовно прийнята рівною 1 г/см³ за температури 20 °С; $W_1 = 100 - W^a$; $m_0 = m W_1/100 + m_2 - m_4$.

Місткість пікнометра обчислюють як середнє арифметичне трьох визначень, отриманих у результаті трьох дослідів:

$$V_i = \frac{m_n^i - m^i}{0,9982}, \quad (2)$$

де 0,9982 — густина води за температури 20 °С, г/см³.

Маса також визначається як середнє арифметичне трьох визначень.

АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ Й ОЦІНЮВАННЯ СТАНДАРТНИХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ

Ідентифікуємо основні джерела невизначеності вимірювань у процесі визначення дійсної щільності палива:

- ❖ неточність (похибка) засобів вимірювальної техніки (ЗВТ);
- ❖ можливе відхилення температур;
- ❖ неточність зчитування показань оператором;
- ❖ вплив випадкових ефектів.

Джерела невизначеності показані на діаграмі «причина-наслідок» (рис. 2).

Згідно з формулою (1) основними джерелами невизначеності є визначення маси й густини розчину змочувача. Стандартну невизначеність (u_m), пов'язану з масами навіски палива, пікнометра з навіскою палива й розчином змочувача, оцінюють, використовуючи дані сертифіката стосовно калібрування електронних вагів: $u_m = 10^{-4}$.

Розглянемо можливий вплив відмінності температури навколишнього середовища, за якої проводилося випробування, від температури, за якої проводилося калібрування ЗВТ. У цьому випадку випробування проводяться лише за регламентованих умов довкілля, й їх вплив на невизначеність результатів випробувань є нехтовно малим. Випадкові фактори, пов'язані з неоднорідностями проби, навісок, іншими факторами, уважаємо урахуваними у значенні збіжності.

У ГОСТ 2160-92 зазначена збіжність результатів (r). Розбіжності, що допускаються між результатами двох паралельних визначень в одній лабораторії для однієї й тієї ж аналітичної проби, не повинні перевищувати 0,02. Невизначеність результатів двох паралельних вимірювань обчислюється з границі збіжності [4]. Виходячи з цього, отримуємо формулу 3:

$$u_r = \sigma_r = \frac{r}{2,8}. \quad (3)$$

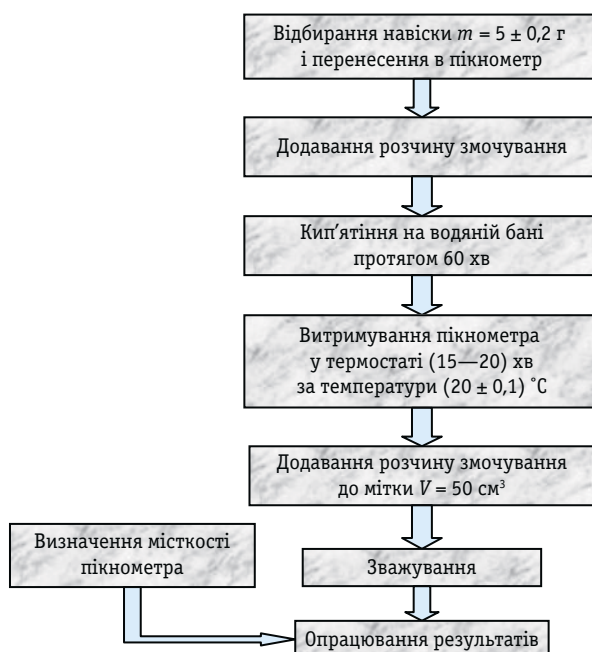


Рис. 1. Блок-схема визначення дійсної щільності

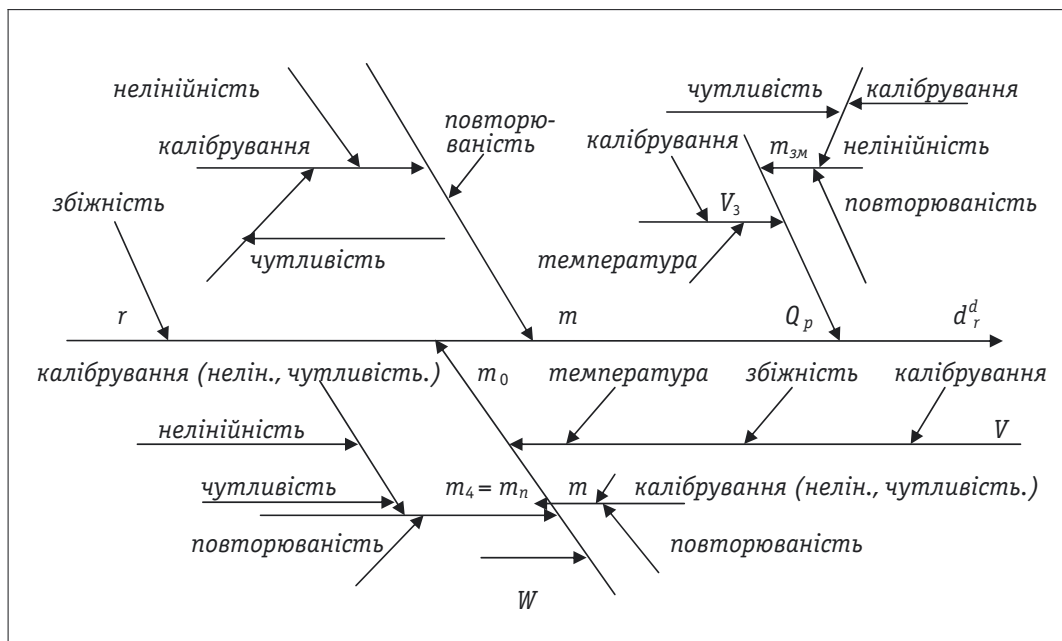


Рис. 2. Діаграма «причина—наслідок» (джерела невизначеності)

Стандартна невизначеність маси пікнометра з розчином змочувача визначається шляхом підсумовування стандартних невизначеностей порожнього пікнометра і його місткості:

$$u(m_2) = \sqrt{u^2(m_{\text{II}}) + u^2(V)}. \quad (4)$$

Під час визначення маси порожньої колби проводять серію із трьох дослідів, тому на стандартну невизначеність впливає збіжність отриманих результатів і невизначеність, пов'язана зі зважуванням. Значення отриманого стандартного відхилення використовуємо як значення стандартної невизначеності:

$$u(m_n) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left((m_i - m)^2 / n(n-1) \right)^2 + u_m^2}. \quad (5)$$

На місткість пікнометра впливають два джерела невизначеності: збіжність і калібрування (вплив температури не враховуємо, оскільки дослід проводиться за тієї ж температури, що й калібрування).

Калібрування: виробник пікнометрів зазначає об'єм ($50 \pm 0,04$) мл, що відповідає $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Значення невизначеності наводиться без певного довірчого рівня або інформації стосовно виду розподілу, тому потребується додаткове припущення. У цьому випадку стандартна невизначеність обчислюється, виходячи із припущення щодо трикутного розподілу. Такий розподіл обрано, оскільки у реальному процесі виробництва мірного посуду номінальні значення об'єму є більш імовірними, ніж крайні значення. Розподіл імовірностей, що отримується у результаті, краще апроксимувати трикутним розподілом, ніж прямокутним:

$$u(V_x) = 0,04 / \sqrt{6} = 0,02. \quad (6)$$

Збіжність: невизначеність, зумовлену відхиленнями під час заповнення пікнометра, можна оцінити експериментально, визначаючи збіжність результатів. Проведено серію із 3 дослідів із заповнення водою й зважування. Отримане стандартне відхилення використовуємо як значення стандартної невизначеності:

$$u(V_{36}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left((V_i - V)^2 / n(n-1) \right)^2 + u_m^2} . \quad (7)$$

Ці джерела підсумовують, отримуючи стандартну невизначеність місткості:

$$u(V) = \sqrt{u^2(V_k) + u^2(V_{36})}. \quad (8)$$

На густину розчину змочувача впливають такі джерела невизначеності, як маса змочувача, об'єм оцтової кислоти.

Невизначеність, пов'язану з масою m , оцінюють, використовуючи дані сертифіката стосовно калібрування вагів і документацію виробника.

На об'єм оцтової кислоти впливають такі джерела, як *калібрування й температура*.

Калібрування: виробник пікнометрів зазначає об'єм ($5 \pm 0,01$) мл, що відповідає 20 °С. Стандартна невизначеність обчислюється, виходячи із припущення щодо трикутного розподілу:

$$u(V_{k1}) = 0,01/\sqrt{6} = 0,004. \quad (9)$$

Температура: оцтова кислота відмірюється за температури навколишнього середовища у лабораторії, що коливається у межах ± 4 °C, тоді як посуд калібрували за температури 20 °C. Невизначеність,

Бюджет невизначеності вимірювань під час визначення дійсної щільності палива

Розрахункова формула	Вхідна величина	Оцінювання вхідної величини	Умове позначення	Закон розподілу	Тип оцінювання	Стандартна невизначеність	Коефіцієнт чутливості
$d_r^d = m W_1 Q_p / m_0$	m	5,0024	$u(m)$	Норм.	B	$\sqrt{2u_m}$	d_r^d / m
	m_0	3,3889	$u(m_0)$	Норм.	B	$\sqrt{u_c^2(m_x) + u_m^2 + u^2(V) + u_m^2}$	d_r^d / m_0
	W_1	98,5	$u(W_1)$	Норм.	B	$u_c(W)$	d_r^d / W_1
	Q_p	1	$u(Q_p)$	Норм.	B	$\sqrt{u_m^2 + u^2(V_3)}$	d_r^d / Q_p
	r	0,02	u_r	Норм.	B	$r/2,8$	1

зумовлена цим ефектом, можна обчислити, виходячи із зазначеного діапазону температур і коефіцієнта об'ємного розширення. Об'ємне розширення рідини є суттєво більшим за об'ємне розширення скла, тому слід ураховувати лише першу складову. Коефіцієнт об'ємного розширення води дорівнює $2,1 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, що призводить до значень границь $\pm 0,0025$. Стандартна невизначеність розраховується, виходячи із припущення щодо прямокутного розподілу, тобто:

$$u(t_1) = 0,0025 / \sqrt{3} = 0,001. \quad (10)$$

Стандартна невизначеність оцтової кислоти:

$$u(V_3) = \sqrt{u^2(V_{k1}) + u^2(t_1)} = 0,004. \quad (11)$$

Ці два внески підсумовують, отримуючи стандартну невизначеність приготування розчину змочувача:

$$u(Q_p) = \sqrt{u_m^2 + u^2(V_3)} = \sqrt{(10^{-4})^2 + (0,004)^2} = 0,004 \text{ г/см}^3. \quad (12)$$

ОЦІНЮВАННЯ СУМАРНОЇ СТАНДАРТНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Припустимо, що

$$m_x = m W_1 / 100. \quad (13)$$

Загальне співвідношення між сумарною стандартною невизначеністю $u_c(d)$ значення d і невизначеністю параметрів x_1, x_2, \dots, x_n , від яких залежить d , має вид:

$$u_c(d(x_i)) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u^2(x_i)}, \quad (14)$$

де $d(x_i)$ — функція параметрів x_i ; c_i — коефіцієнти чутливості, що виражаються як частинні похідні d за відповідними змінними, тобто:

$$c_i = \partial d / \partial x_i. \quad (15)$$

Значення стандартних невизначеностей кожного джерела за формулою (14):

$u(m) = u_m$; $u(W_1) = u_c(W)$, невизначеність вологи оцінюється аналогічно.

Коефіцієнт чутливості за формулою (15): $c_m = W_1 / 100$; $c_w = m / 100$. Сумарна стандартна невизначеність m_x має вид:

$$u_c(m_x) = \sqrt{(u_m \cdot W_1 / 100)^2 + (u_c(W) \cdot m / 100)^2};$$

$$u_c(m_x) = \sqrt{(10^{-4} \cdot 98,5 / 100)^2 + (0,053 \cdot 5,0024 / 100)^2} = 0,0027. \quad (16)$$

Значення стандартних невизначеностей кожного джерела із формули (1):

$$u(m_n) = \sqrt{2} u_m; u(m_2) = u(m_4) = u(m_n) = u_m;$$

$$u(m_0) = \sqrt{u_c^2(m_x) + u^2(m_2) + u^2(m_4)} = \sqrt{u_c^2(m_x) + u_m^2 + u^2(V) + u_m^2};$$

$$u(W_1) = u_c(W); u(Q_p) = \sqrt{u_m^2 + u^2(V_3)}.$$

Коефіцієнти чутливості знаходимо за формулою (1):

$$c_m = d_r^d / m; c_{m0} = d_r^d / m_0; c_w = d_r^d / W_1; c_Q = d_r^d / Q.$$

За результатами аналізу складаємо бюджет невизначеності вимірювань під час визначення дійсної щільності палива (таблиця).

Формула для розрахунків сумарної стандартної невизначеності має вид:

$$u_c(d_r^d) = d_r^d \sqrt{2(u_m / m)^2 + (2u_m^2 + u^2(V) + u_c^2(m_x)) / m_0^2 + (u_c(W) / W_1)^2 + (u_m^2 + u^2(V_3)) / Q^2 + (r / 2,8 d_r^d)^2}. \quad (17)$$

Підставивши значення у формулу 17, отримаємо:

$$u_c(d_r^d) = 0,013,$$

де $u_c(W)$ — обчислене за аналогічною методикою, $u(Q_p) = 0,004$.

Закон розподілу сумарної стандартної невизначеності кінцевого результату можна прийняти нормальним, оскільки на результат випробувань впливає велика кількість факторів. Розширену невизначеність U отримаємо множенням сумарної стандартної невизначеності на коефіцієнт охоплення.

На практиці ухвалюють для рівня достовірності $P = 0,95$ коефіцієнт охоплення $K = 2$.

$$U = 2 \cdot u_c(d_r^d) = 0,026. \quad (18)$$

Результат обчислення дійсної щільності з розширеною невизначеністю представляється як: $(d_r^d \pm U)$ г/см³; $P = 0,95$. Підставивши значення, отримаємо: $(1,46 \pm 0,026)$ г/см³; $P = 0,95$.

ВИСНОВКИ

Аналогічно можна розробити методику розрахунків невизначеності для інших методів випробувань, використовуваних в аналітичних лабораторіях.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
2. Семь инструментов качества в японской экономике. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 88 с. (Качество, экономика, общество. Современные проблемы).
3. ГОСТ 2160-92. Определение действительной плотности твердого минерального топлива.
4. ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-2005. ИПК. «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.— Изд-во стандартов, 2005. В 6-ти частях. ■

МІЖНАРОДНА ВИСТАВКА Й КОНФЕРЕНЦІЯ «НАФТА Й ГАЗ, НАФТОПЕРЕРОБКА Й НАФТОХІМІЯ КАСПІЮ» (CASPIANOIL&GAS-2013)

4-7 червня 2013 року в Баку (Азербайджан) відбулася Міжнародна виставка «Нафта й газ, нафтопереробка й нафтохімія Каспію» (Caspianoil&Gas-2013), найбільший захід Прикаспійського регіону в нафтогазовій області. Щорічно, протягом 20 років, «Нафта й Газ Каспію» збирає на своєму майданчику лідерів нафтової індустрії всього світу для демонстрації передових технологій в області видобутку й переробки нафти й газу, транспортування й логістики, сервісних послуг.

У виставці взяли участь більш 300 компаній з 28 країн миру. З робочою програмою виставку відвідала делегація ДП «Укрметртестстандарт».

У рамках ділової програми міжнародної виставки для її учасників проведений семінар «Нові технології вимірювань і опрацювання їх результатів при калібруванні резервуарів», організатором якого виступив ДП «Укрметртестстандарт». Аналогічний семінар проведено і для колег з Азтесту.

Розроблення нашого підприємства представив А.Н. Самойленко, директор Науково-виробничого інституту метрологічного забезпечення вимірювань геометричних, механічних і віброакустичних величин. Програмне забезпечення «VGS» у комбінації з новітньою технологією лазерного 3D ска-

нування резервуарів, залізничних цистерн і танків суден є новітнім унікальним розробленням фахівців ДП «Укрметртестстандарт». Ця технологія викликала значний інтерес у представників великих компаній нафтогазової галузі.

Делегацією ДП «Укрметртестстандарт» проведені переговори про співробітництво в трьох структурних підрозділах і з керівництвом Державної нафтової компанії Азербайджану SOCAR, з компанією British Petroleum, з регіональним представництвом транснаціональної експертної й аудиторської компанії SGS, що спеціалізується на еталонних газових сумішах, компанією Realgaz, іншими азербайджанськими й іноземними компаніями. Відбулося декілька різносторонніх і продуктивних зустрічей з колегами з Азтесту Державного комітету зі стандартизації, метрології, патентів.

Результати участі делегації ДП «Укрметртестстандарт» у виставці «Нафта й газ, нафтопереробка й нафтохімія Каспію» дають усі підстави розглядати її як дуже важливий і перспективний крок із просування кращих розроблень підприємства на закордонні ринки. ■

(За матеріалами
ДП «Укрметртестстандарт»)

УДК 53.082:528.563

ЗАСТОСУВАННЯ КВАДРАТИЧНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ У ПРОЦЕСІ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ У БАЛІСТИЧНОМУ ГРАВІМЕТРІ

А. Омельченко, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Харківський національний університет радіоелектроніки,

О. Вінніченко, провідний інженер, вчений-зберігач державного еталона,

В. Купко, кандидат технічних наук, директор наукового центру,
ННЦ «Інститут метрології», м. Харків,

Є. Занімонський, PhD, науковий співробітник,
Радіоастрономічний інститут НАН України, м. Харків

Обґрунтована можливість застосування локальної квадратичної інтерполяції даних з виходу схеми вимірювання шляху й часу в симетричному балістичному гравиметрі (БГ). Показано, що застосування квадратичної інтерполяції дозволяє реалізувати метод вимірювання прискорення вільного падіння (ПВП), що має основні переваги симетричної вимірювальної схеми. Отримані аналітичні вирази для реакції БГ, що використовує метод інтерполяції на типові спотворювальні впливи. З використанням експериментальних даних досліджено вплив використаної процедури інтерполяції на АЧХ БГ.

Reasonable possibility of local quadratic interpolation data application from the chart of way and time measuring in symmetric ballistic gravimeter (BG) is substantiated. It is showed that quadratic interpolation application allows to realize the measuring of acceleration of the free falling (method), that has basic advantages of symmetric measuring chart. The analytical expressions are got for the BG reaction, that uses the method of interpolation on a type distorted influences. With the use of experimental data influence of the used interpolation procedure on BG AFC is investigated.

Для дискретизації сигналу в БГ під час вимірювання абсолютного значення ПВП традиційно використовується схема збігів, на виході якої фіксуються пари «шлях-час». Така схема не забезпечує строго симетричне розташування відліку даних у часі відносно центрального моменту, що розділяє висхідну й спадну гілки руху пробного тіла (ПТ). Це призводить до помилок вимірювань, обумовлених неможливістю реалізації строго симетричної схеми опрацювання сигналу [1].

Метою цієї роботи є дослідження застосовності інтерполяції даних з виходу схеми збігів і створення на цій основі методів опрацювання сигналу в БГ, що ефективно пригнічують сейсмічні завади і мінімізують похибки вимірювань, обумовлені залишковим газом у вакуумній камері (ВК) БГ.

Відзначимо, що розроблений підхід можна використовувати і в БГ, у яких для дискретизації сигналу використовуються високошвидкісні АЦП.

© Омельченко А., Вінніченко О., Купко В., Занімонський Є., 2013

Під час вибору методу інтерполяції для використання в БГ скористаємося тим, що в умовах високого вакууму в камері БГ траєкторія ПТ з високою точністю описується поліномом другого ступеня. Тому цілком природним є використання для цієї мети локальної квадратичної інтерполяції Лагранжа [2].

Уважатимемо, що у ВК БГ проводиться підкидання ПТ й на виході вимірника «Шлях-Час» (ВШЧ) спостерігаються пари даних шляху й часу:

$$\{z(t_k), t_k\}, \quad k = \overline{0, K-1}, \quad (1)$$

де відліки часу $t_k \in (0, T)$, а відліки шляху:

$$z(t_k) = \sum_{i=0}^n a_i \cdot (t_k - \tau)^i + \zeta(t_k) + \eta(t_k). \quad (2)$$

У (1) і (2) використані позначення: T — тривалість інтервалу спостереження; τ — момент часу, у який досягається вершина траєкторії ПТ; $a_i, i = \overline{1, n}$ — невідомі коефіцієнти поліноміальної апроксимації траєкторії руху ПТ; n — порядок степеневого поліному; $\zeta(t)$ — адитивна завада із нульовим середнім, обумовлена впливом сейсміки; $\eta(t)$ — низькочастотна завада, обумовлена впливом залишкового газу в камері БГ і спотвореннями сигналу в околі центральної точки інтервалу спостереження $t = \tau \approx T/2$.

Подвоєне значення коефіцієнта за другого степеня поліному в моделі (2) відповідає величині ПВП: $g = 2a_2$.

Потрібно знайти робочу формулу для вимірювання ПВП, з мінімально можливими систематичними помилками й мінімальним середньо-квадратичним відхиленням (СКВ).

РОБОЧА ФОРМУЛА ДЛЯ СИМЕТРИЧНИХ БГ

У гравіметрії для визначення абсолютного значення ПВП звичайно використовується метод найменших квадратів (МНК). За його використання результат вимірювання ПВП представимо у виді [1]:

$$\hat{g} = \sum_{k=0}^{K-1} z(t_k) \cdot W(k), \quad (3)$$

де $W(k)$ — вагові коефіцієнти опрацювання у БГ.

Згідно з основним задумом у симетричних БГ має реалізовуватися симетрична вимірювальна схема, за якої відліки беруться симетрично відносно вершини траєкторії, а нуль за віссю часу умовно вважається таким, що збігається з моментом проходження вершини. Разом з тим на виході схеми збігів формується послідовність часових відліків, яка не є симетричною. Однією із причин такої несиметрії є вплив збурювальних факторів, у вимірювальній системі

БГ. Відзначимо, що через невизначеність вершини на етапі формування вихідних даних така послідовність не буде строго симетричною навіть за формування відліків за допомогою АЦП із рівномірною дискретизацією.

Через несиметричність вимірювальної схеми під час обчислення значення ПВП згідно із (3) виникають додаткові складові похибки вимірювань. Для їхнього усунення у цій роботі пропонується замість (3) визначати ПВП згідно з виразом:

$$\hat{g} = 2\theta^{-2} \sum_{i=m}^m w[i] \cdot \bar{z}(\tau + k\theta), \quad (4)$$

де $w[i]$ — вагові коефіцієнти опрацювання гравіметра з відліками у точках $t_i = \tau + k\theta$; $\bar{z}(\tau + i\theta)$ — результат інтерполяції відліку шляху в момент часу $\tau + k\theta$; θ — часовий інтервал між сусідніми відліками, що інтерполюються. Вагові коефіцієнти $w[i]$ мають задовольняти умову симетрії:

$$w[-i] = w[i], \quad i = \overline{1, m}. \quad (5)$$

На практиці гравіметричних вимірювань симетричним методом величина τ апіорі є невідомою. Тому замість дійсного значення τ доведеться скористатися в алгоритмах опрацювання його оцінкою. Від вибору отанньої залежатимуть значення складових похибки вимірювання ПВП. Однак аналізування цієї проблеми виходить за рамки цієї статті, а в її рамках уважатимемо, що момент τ досягнення ПТ вершини траєкторії апіорі є відомим.

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ЛОКАЛЬНОЇ КВАДРАТИЧНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

Є відомими різні методи інтерполяції функцій [3, 4]. Усі методи інтерполяції можна розділити на локальні й глобальні. У випадку локальної інтерполяції на кожному інтервалі $[t_{i-1}, t_i]$ будується окремий поліном. У випадку глобальної інтерполяції відшукується єдиний поліном на всьому інтервалі спостереження.

Найпростішим методом локальної інтерполяції є інтерполяція методом найближчого сусіда, за якого як проміжне значення вибирається найближче відоме значення функції. На практиці найчастіше застосовують інтерполяцію алгебраїчними або ж тригонометричними поліномами (багаточленами).

У розглядуваній задачі для інтерполяції відліків шляху природно використовувати локальну квадратичну інтерполяцію. Інтерполяція має бути локальною через вплив на референтний відбивач (РВ) широкосмугової завади. Тому точно інтерполювати відліки шляху сигналу залежно від часу можна лише на малому, порівняно з інтервалом кореляції завади,

інтервалі. Квадратичний же вид інтерполяції обумовлений характером руху ПТ у розрідженому газовому середовищі.

Для квадратичної інтерполяції функції $f(t)$ за трьома відліками у моменти часу t_0, t_1, t_2 скористаємося інтерполяційним поліномом Лагранжа [2], що має вид:

$$L_2(t) = f(t_0) \cdot l_0(t) + f(t_1) \cdot l_1(t) + f(t_2) \cdot l_2(t), \quad (6)$$

де базисні поліноми визначаються виразами

$$l_0(t) = \frac{(t-t_1)(t-t_2)}{(t_0-t_1)(t_0-t_2)},$$

$$l_1(t) = \frac{(t-t_0)(t-t_2)}{(t_1-t_0)(t_1-t_2)},$$

$$l_2(t) = \frac{(t-t_0)(t-t_1)}{(t_2-t_0)(t_2-t_1)}.$$

Нескладно переконатися, що коефіцієнти інтерполяційного багаточлена Лагранжа мають такі корисні властивості

$$l_0(x) + l_1(x) + l_2(x) = 1;$$

$$l_0(x) \cdot (x_0 - x) + l_1(x) \cdot (x_1 - x) + l_2(x) \cdot (x_2 - x) = 0;$$

$$l_0(x) \cdot (x_0 - x)^2 + l_1(x) \cdot (x_1 - x)^2 + l_2(x) \cdot (x_2 - x)^2 = 0. \quad (7)$$

Відомо [2], що помилка інтерполяції функції $f(t)$ на інтервалі $[a, b]$ задовольняє нерівність:

$$\|R_n\| = \|f - L_n\| \leq \frac{\|f^{(n)}\|}{n!} \cdot \left\| \prod_{i=0}^{n-1} (t - t_i) \right\|, \quad (8)$$

де $\|\cdot\|$ — позначення рівномірної норми: $\|\rho\| = \sup_{t \in [a, b]} |\rho(t)|$; n — число вузлів інтерполяції.

Спочатку розглянемо вплив квадратичної інтерполяції на корисну складову сигналу:

$$x(t) = a_0 + a_2(t - \tau)^2.$$

Із (8) випливає, що помилка інтерполяції корисної складової сигналу буде нульовою.

Розглянемо квадратичну інтерполяцію завадової складової даних у виді функції $z(t) = \sin(\omega t + \varphi)$ на відріжку $[\tau_0, \tau_2]$ за трьома значеннями у точках $\tau_0 < \tau_1 < \tau_2$.

Залишковий член для цього випадку визначимо за формулою (8), урахувавши, що $n = 3$ й $\sin(\omega t + \varphi)''' = -\omega^3 \cos(\omega t + \varphi)$. Отримаємо:

$$|R_2(t)| \leq \frac{4\pi^3}{3} \frac{|t - \tau_0| |t - \tau_1| |t - \tau_2|}{T^3}, \quad (9)$$

$T = 2\pi/\omega$ — період гармонічного сигналу, що інтерполюється.

Відповідно до (9) для гармонік з періодом $T \gg (\tau_2 - \tau_0)$ квадратична інтерполяція в інтервалі $[\tau_0, \tau_2]$ практично не спотворює гармонічну складову завади. За $\frac{T}{\tau_2 - \tau_0} = 50$ згідно з (9) отримаємо

$|R_2(t)| < 5,2 \cdot 10^{-3}$. Тому слід очікувати, що для найнебезпечніших низькочастотних складових завади обраний метод інтерполяції не погіршить характеристик завадостійкості БГ.

РЕАКЦІЯ БГ НА ВПЛИВ У ВИДІ СТЕПЕНЕВИХ ФУНКЦІЙ

За підходу, що використовує інтерполяції, статистику (4) на виході БГ зручно представити у виді:

$$\hat{g} = 2\theta^{-2} \sum_{i=-m}^m w[i] \cdot \{l_0(t_{i,0}) \cdot z(t_{i,0}) + l_1(t_{i,1}) \times \\ \times z(t_{i,1}) + l_2(t_{i,2}) \cdot z(t_{i,2})\}, \quad (10)$$

де $\{t_{i,0}, t_{i,1}, t_{i,2}\}$ — сукупність трьох вибірок із вихідної послідовності $\{t_k, k = 0, K-1\}$, що мають мінімальне видалення від інтерпольованого відліку, відповідного до моменту часу $\tau + k\theta$.

Через лінійність оцінювання (10) відносно до відліків шляху можна незалежно розглядати реакцію цього оцінювання на складові завади.

Розглянемо реакцію оцінювання (10) на вплив у виді степеневі функції порядку p . Для цього у виразі (10) використовуємо підстановку $z_{i,r}(t_{i,r}) = t_{i,r}^p$. Отримаємо:

$$S_p = 2\theta^{-2} \sum_{i=-m}^m w[i] \cdot \{l_0(t_{i,0}) \cdot (\tau_{i,0} + i\theta)^p + \\ + l_1(t_{i,1}) \cdot (\tau_{i,1} + i\theta)^p + l_2(t_{i,2}) \cdot (\tau_{i,2} + i\theta)^p\}, \quad (11)$$

де $\tau_{i,r} = t_{i,r} - i\theta$.

Після перетворень у (11) з урахуванням властивостей (7) прийдемо до виразу:

$$S_p = 2\theta^{-2} \sum_{i=-m}^m w[i] \cdot (i\theta)^p + 2\theta^{-2} \sum_{r=0}^{p-3} \sum_{i=-m}^m w[i] \cdot (i\theta)^p \times \\ \times C_p^r \left\{ \left(\frac{\tau_{i,0}}{i\theta} \right)^{p-r} l_0(\tau_{i,0}) + \left(\frac{\tau_{i,1}}{i\theta} \right)^{p-r} l_1(\tau_{i,0}) + \left(\frac{\tau_{i,2}}{i\theta} \right)^{p-r} l_2(\tau_{i,2}) \right\}, \quad (12)$$

і з урахуванням властивостей вагових коефіцієнтів опрацювання, а також (7) маємо:

$$S_0 = S_1 = 0; \quad S_2 = 1. \quad (13)$$

Із аналізування (12) випливає, що за $p = 3, 4, \dots$ справедливим є наближення

$$S_p \approx 2\theta^{-2} \sum_{i=-m}^m w[i] \cdot (i\theta)^p. \quad (14)$$

Із сукупності виразів (13, 14) випливає, що використання інтерполяції дозволяє з високою точністю реалізувати симетричну вагову функцію опрацювання у БГ за несиметричного визначення вихідних пар «шлях-час». При цьому для степеневих функцій непарного порядку маємо:

$$S_p \approx 0, \quad p = 3, 5, \dots$$

ВИКЛЮЧЕННЯ СТИБКА ПРИ ВЕРШИНІ

Для симетричного БГ однією із проблем є «стрибок шляху» при центральній точці (вершині траєкторії ПТ) [5].

З урахуванням зазначеного, прийнемо таку модель складової завади:

$$\eta(t) = d \cdot \Theta(t - \delta), \quad (15)$$

де $\Theta(t)$ — функція Хевісайда, тобто

$$\Theta(t) = \begin{cases} 0, & t < 0; \\ 1, & t \geq 0, \end{cases}$$

d — величина стрибка; $\delta \in [\tau - \chi, \tau + \chi]$ — момент стрибка, відомий з невизначеністю $2\chi < \tau$.

Якщо вагові коефіцієнти опрацювання БГ $w[i]$ у (10) вибрати так, що б вони задовольняли умову

$$w[i] = 0 \text{ за } i\theta > \chi$$

та умову симетрії (5), то, як легко переконалися, реакція оцінювання (10) на стрибок (15) буде нульовою. Це дозволяє виключити проблему стрибка при вершині траєкторії ПТ.

АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНА ХАРАКТЕРИСТИКА БГ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄ КВАДРАТИЧНУ ІНТЕРПОЛЯЦІЮ

Частотна характеристика може бути інтерпретована як вихідний сигнал лінійної системи, на вхід якої подано тестовий сигнал у виді комплексної експоненти з одиничною амплітудою й нульовою початковою фазою: $z''(t) = e^{j2\pi ft}$ [6]. У загальному випадку АЧХ БГ визначається виразом [6]:

$$G(f) = \frac{1}{(2\pi f)^2} \left| \sum_{k=0}^{K-1} \exp\{j2\pi f t_k\} \cdot W(k) \right|. \quad (16)$$

Згідно з (16) для БГ, що використовує інтерполяцію, АЧХ визначається виразом:

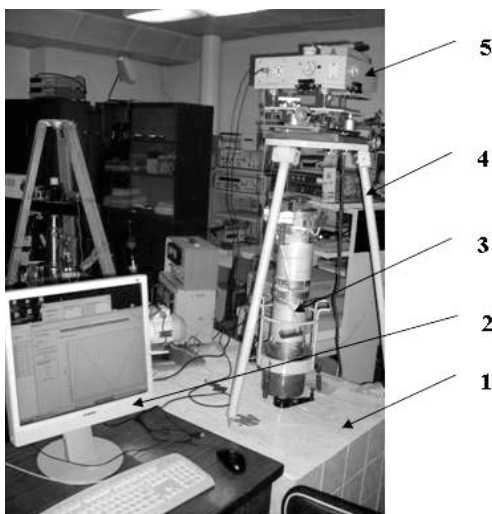


Рис. 1. БГ експериментальний: 1 — фундамент; 2 — ПЕОМ; 3 — ПД; 4 — тринога; 5 — ППЛ

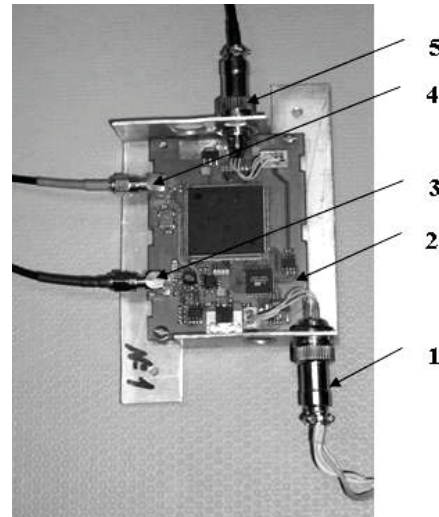


Рис. 2. Вимірник ППВ: 1 — роз'єм з'єднання із блоком керування БГ; 2 — плата; 3 — вхід сигналу від стандарту частоти й часу; 4 — вхід сигналу від ППЛ; 5 — роз'єм з'єднання з ПЕОМ

$$G_a(f) = \frac{2}{(2\pi f\theta)^2} \times \left| \sum_{i=-m}^m w[i] \cdot \{l_0(t_{i,0}) \cdot \exp\{j2\pi f t_{i,0}\} + l_1(t_{i,1}) \times \right. \quad (17)$$

$$\left. \times \exp\{j2\pi f t_{i,1}\} + l_2(t_{i,2}) \cdot \exp\{j2\pi f t_{i,2}\}\} \right|$$

ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БГ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Порівняємо характеристики БГ, що використовують для вимірювання ППВ сукупність вихідних відліків «шлях-час» на інтервалі вимірювання й сукупність інтерпольованих відліків з рівномірним кроком інтерполяції у часі. Для цього скористаємося експериментальними даними стосовно моментів відліку часу з виходу плати ППВ БГ експериментального (рис. 1), у якому використовувався інтерферометр

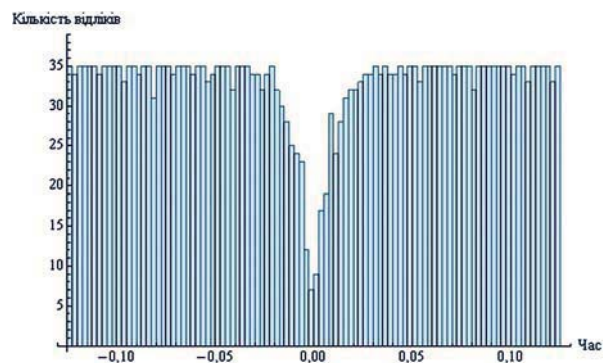


Рис. 3. Гістограма розподілу частот часових відліків

переміщення лазерний (ІПЛ) 5 з довжиною хвилі лазерного випромінювання $\lambda \approx 0,633$ мкм, закріпленого на тринозі 4 і встановленого на спеціальному фундаменті 1, а ПТ переміщується у ВК приладу динамічного (ПД) 3, параметри руху якого через ІПВ передаються на ПЕОМ 2 для обчислення абсолютного значення ПВП.

Розроблена плата вимірника ІПВ, конструкція якої пояснюється на рис. 2, на інтервалі вимірювання формує відліки шляху й часу, значення яких випадково розташовані на осі часу.

Значення відгуку БГ на тестові впливи

Тип впливу	Значення реакції для БГ	
	Що не використовує інтерполяцію	З інтерполяцією
Реакція на стрибок шляху при вершині величини $d = \lambda / 2$, Гал	$-4,36063 \cdot 10^{-6}$ $5,83485 \cdot 10^{-6}$ $5,05308 \cdot 10^{-6}$ $-3,24227 \cdot 10^{-6}$ $-9,63804 \cdot 10^{-6}$ $-7,67367 \cdot 10^{-6}$ $7,29238 \cdot 10^{-6}$	Близьке у всіх випадках до $-3 \cdot 10^{-18}$
Реакція на поліном t^p ступеня p , м/с ²		
$p = 3$	0,000247188 - 0,000625979 0,0000767237 0,0000530767 0,000315951 0,00030568 - 0,000359274	Не перевищує за модулем 10^{-11}
$p = 4$	0,0295655 0,0295411 0,0295669 0,0295551 0,0295606 0,0295706 0,0295929	Дорівнює у всіх випадках 0,0296714
$p = 5$	$3,99872 \cdot 10^{-6}$ $-1,33013 \cdot 10^{-5}$ $2,95318 \cdot 10^{-6}$ $2,71924 \cdot 10^{-7}$ $4,79152 \cdot 10^{-6}$ $4,77461 \cdot 10^{-6}$ $-6,15718 \cdot 10^{-6}$	Не перевищує за модулем 10^{-11}
$p = 6$	0,000396548 0,000396105 0,000396596 0,000396441 0,000396546 0,000396619 0,000397219	Дорівнює у всіх випадках 0,000399452

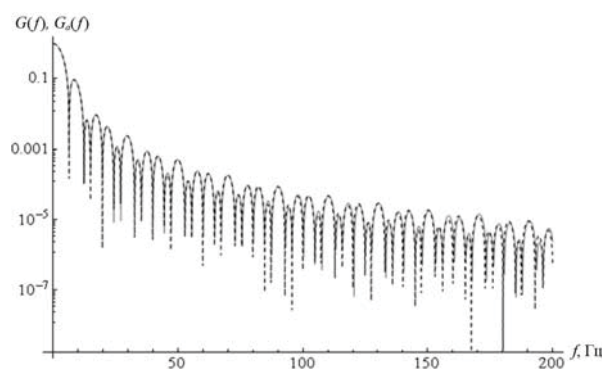


Рис. 4. АЧХ БГ, що використовують вихідні дані (сіра крива) й інтерпольовані відліки (пунктирна крива чорного кольору)

На рис. 3 як приклад показано гістограму частот влучення відліку часу у відповідні інтервали на відрізку часу тривалістю 0,25 с для однієї з реалізацій даних (усього 3265 відліків), що відповідають одному із кидків ПТ.

У результаті тестування плати ІПВ з'ясувалося, що в околі вершини число часових відліків зменшується, а самі відліки у цій області спотворені випадковими стрибками шляху на величину, кратну половині довжини хвилі лазерного випромінювання. Тому відліки із цієї області не включалися у робочі формули гравіметрів.

Основні характеристики двох варіантів вимірювальних систем (без застосування інтерполяції й із застосуванням інтерполяції) наведено у графах таблиці, де представлено значення характеристик для різних реалізацій сигналів, кожна з яких відповідає окремому кидку ПТ.

Під час досліджень тривалість використовуваного для опрацювання часового інтервалу приймалася рівною 0,25 с. При цьому в робочих формулах гравіметрів використовувалися лише відліки, що відстоять від центральної точки на відстань, більшу за 25 мс.

У процесі досліджень визначалися характеристики гравіметрів, розраховані згідно з виразом (3) із використанням вихідних відліків сигналів, а також згідно з виразом (10) з використанням інтерполяції. В останньому випадку часовий інтервал між відліками, що інтерполюються, приймався однаковим — $\theta = 5$ мс. Вагові коефіцієнти опрацювання у формулах (3) і (10) визначалися згідно з МНК із використанням поліноміальної моделі другого порядку.

На рис. 4 зображені АЧХ для двох описаних вище варіантів БГ, сформовані згідно з виразами (16) і (17). Ці дві АЧХ практично збігаються.

Із аналізування представлених вище результатів випливає, що застосування квадратичної інтерполяції з рівновіддаленими й симетрично розташованими часовими відліками на виході інтерполятора дозволяє побудувати оцінювання ПВП, що мають усі корисні властивості симетричних вагових функцій з рівномірним інтервалом дискретизації. По-перше, ці оцінки не реагують на компоненти адитивної завади у виді степеневих функцій непарного порядку й забезпечують незмінну реакцію на компоненти завади у виді степеневих функцій парного порядку. Це створює умови для введення поправок на залишковий газ у ВК. По-друге, їхнє застосування дозволяє виключити вплив стрибка шляху в околі вершини на результати вимірювань. По-третє, за завадостійкістю відносно сейсмічних завад оцінювання, побудовані з використанням процедури інтерполяції, не поступаються оцінюванням ПВП, що використовують всю сукупність вихідних відліків даних з виходу схеми збігів. І нарешті, по-четверте, розташування інтерпольованих даних з постійним інтервалом дискретизації створює передумови для подальшого їхнього опрацювання з використанням апарату кінцевих різниць і гнучкого формування необхід-

них вагових функцій гравіметрів із використанням апарату вагових функцій регресійного аналізу [7, 8].

ВИСНОВКИ


Застосування локальної квадратичної інтерполяції під час опрацювання сигналів з виходу ІПВ забезпечує ряд важливих переваг, найважливішою з яких є:

1) усталеність відносно впливів, що заважають, мають несиметричний характер стосовно центральної точки вимірювального інтервалу;

2) простота введення коригувальних поправок відносно впливів, що мають симетричну компоненту. За правильного вибору часового положення точок, що інтерполюються, існує можливість зберегти АЧХ БГ в області небезпечних низьких частот, тієї ж, що й для БГ, який використовує всю сукупність вихідних відліків даних з виходу ІПВ.

Застосування інтерполяції дозволяє за допомогою звичайної схеми ІПВ сформувати послідовність рівновіддалених у часі відліків, що створює умови для формування необхідних вагових функцій гравіметрів з урахуванням властивостей сейсмічних завад зовнішнього й внутрішнього походження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Омельченко А.В., Занимонский Е.М., Купко В.С. Влияние шумов дискретизации на точность симметричных баллистических гравиметров. Український метрологічний журнал, 2013, №1, С. 33—39.
2. Бахвалов Н. С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. — 6-е изд. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 636 с.
3. Алибеков И.Ю. Численные методы: Учебное пособие. — М.: МГИУ, 2008. — 220 с.
4. Половко А.М., Бутусов П.Н. Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 320 с.
5. Занимонский Е. М., Нагорный В. Д. Баллистический гравиметр: подход в рамках теории линейных систем // Измерительная техника.— 1992. — № 3.— С. 34—36.
6. Светлов С. М. Методы анализа и уменьшения динамических ошибок баллистических гравиметров. Автореферат диссертации на соискание научной степени кандидата технических наук. — Харьков. — 2000. — 17 с.
7. Омельченко, А. В. Весовые функции полиномиального регрессионного анализа / А. В. Омельченко, А. В. Федоров // Вісник Харк. нац. ун-ту. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». — 2008. — № 833, вип. 10. — С. 193—205.
8. Омельченко А.В. Оцінювання параметрів поліноміальної регресії у випадку корельованих помилок спостереження // Вісник Тернопільського державного технічного університету. — 2009. — № 3. — С. 124—133. 

УДК 531.76:535.338.334

ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ МЕТАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТА У КАНАЛІ СТВОЛА НА ОСНОВІ ОПТИЧНОГО ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ДОПЛЕРІВСЬКОГО МЕТОДУ

О. Крюков, доктор технічних наук, професор,

О. Біленко, доктор технічних наук, начальник ад'юнктури та докторантури,

В. Мудрик, ад'юнкт,

Академія внутрішніх військ МВС України, м. Харків,

Г. Доля, доктор технічних наук, професор,

Харківський національний університет ім. В.Н.Каразіна

Обґрунтовано доцільність реалізації вимірювання швидкості руху металюого елемента в каналі ствола для уточнення балістичних елементів пострілу. Запропоновано побудову засобу вимірювання миттєвих значень швидкості металюого елемента на основі подвійного диференційного методу лазерної доплерівської анемометрії із застосуванням світлоповерхтального покриття. Наведено результати розроблення, монтажу та попередніх випробувань дослідної установки.

The work substantiates expediency of realization of throwing elements in the bore velocity measuring for refine of shot the ballistic elements. Suggested structure for the measuring device of instantaneous values throwing element velocity, based on dual differential laser Doppler anemometry method with the use of retroreflecting sheet. Demonstrated results of the design, construction and preliminary tests of experimental plant.

Велику роль у процесі проектування, модернізації та оцінювання стану стрілецької зброї та боеприпасів відіграють дані стосовно балістичних елементів пострілу — залежності зміни тиску $P(t)$ порохових газів і швидкості $V(t)$ металюого елемента як функції часу його руху в каналі ствола від початку першого періоду пострілу до моменту виходу із дульного отвору [1].

Ці залежності дають змогу визначати вплив окремих умов заряджання на характер дії порохових газів у дульних гальмах, газовідвідних пристроях, інших механізмах, що використовують енергію порохових газів [2], оцінювати технічний стан стрілецькій зброї та боеприпасів, що перебу-

вають в експлуатації або приймаються підрозділом з тривалого зберігання, нових або модернізованих, зокрема, під час проведення державних та приймальних випробувань. Дані щодо балістичних елементів пострілу використовуються конструкторами у процесі проектування ствола, деталей вузла запирання, розрахунку кінематики та динаміки рухомих частин, енергії віддачі й під час вирішення інших завдань, пов'язаних із розроблянням або модернізацією зразка озброєння та боеприпасів до нього.

Одним із перспективних шляхів підвищення точності визначення балістичних елементів пострілу є реалізація їх експериментального отримання шляхом

вимірювання миттєвих значень тиску порохових газів або швидкості руху металевого елемента.

Відомі методи і засоби вимірювання тиску порохових газів у каналі ствола під час пострілу передбачають врізання датчика тиску в ствол зброї [3, 4]. Однак суттєвим недоліком такого підходу є незворотне руйнування зразка зброї. Отже, обґрунтування шляхів реалізації експериментального визначення балістичних елементів пострілу із заданою точністю та за умови відсутності руйнування зразка зброї є актуальною науковою задачею.

Існуючі методи і відповідні їм засоби вимірювання швидкості руху металевих елементів (хронограф, оптичний та індукційний засоби вимірювання тощо) передбачають проведення вимірювань лише за межами каналу ствола і не адаптовані для застосування під час першого та другого періодів пострілу [5]. Тому розроблення теоретичних і прикладних основ вимірювання швидкості руху металевого елемента, що рухається безпосередньо в каналі ствола, є наразі достатньо актуальним.

В основу засобу вимірювання швидкості руху металевого елемента в каналі ствола можна покласти оптичний диференціальний доплерівський метод. Цей метод базується на виділенні та реєстрації доплерівського зсуву частот між двома хвилями когерентного лазерного випромінювання, які направляються на металевий елемент під різними кутами нахилу, близькими до 90° . Відбите випромінювання містить дві хвилі, які, внаслідок інтерференції, створюють сигнал з різницевою частотою, яка несе інформацію стосовно швидкості руху металевого елемента [6]. Неперервна реєстрація різницевої частоти за час, протягом якого тривають перший та другий періоди пострілу, дозво-

лить отримувати масиви миттєвих значень швидкості для подальшого їх опрацювання з метою обчислення балістичних елементів пострілу.

Однак створення доплерівського засобу вимірювання швидкості в каналі ствола є складною науково-технічною задачею. Специфіка сприйняття, передавання та опрацювання вимірювальної інформації зумовлена високою верхньою межею діапазону вимірювання (до декількох сотень м/с) та малою тривалістю явища пострілу (до 0,002 с), а також порівняно малою площею відбивної поверхні металевого елемента та значною глибиною каналу ствола.

Метою статті є вибір та обґрунтування принципу побудови й оптичної схеми доплерівського засобу вимірювання швидкості в каналі ствола.

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ

Можливості застосування практичних схем лазерних доплерівських анемометрів (ЛДА) під час вирішення завдання, що розглядається, значною мірою обмежені малими значеннями потужності випромінювання, яке приймається після розсіювання дифузно-відбивальним об'єктом. Для подолання такого обмеження, пов'язаного з малим відношенням сигнал / завада на виході вимірювального перетворювача, доцільно застосовувати світлоповертальне покриття (СПП) на основі мікросклокульок (рис. 1) або мікропризм (тетраедричних ретрорефлекторів), характерні розміри яких становлять декілька десятків мікрометрів [7]. Діаграма розсіювання когерентного лазерного випромінювання на таких поверхнях [8] у дальній зоні дифракції є хаотичною сукупністю локальних максимумів, характерний розподіл яких наведено на рис. 2, а основна потужність

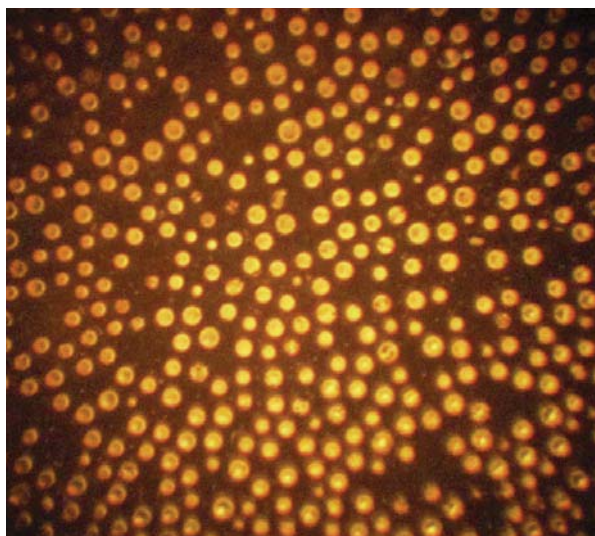


Рис. 1. Структура СПП на основі мікросклокульок

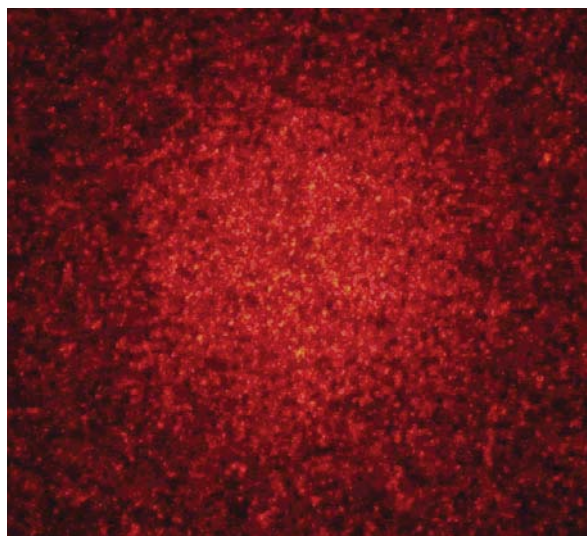


Рис. 2. Діаграма розсіювання випромінювання, відбитого від СПП

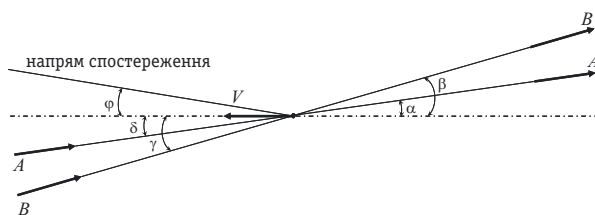


Рис. 3. Схема ходу зондувальних променів

розсіяного випромінювання зосереджена у тілесному куті з кутовим розміром θ порядку одиниць градусів.

За реалізації диференційних схем ЛДА, зондувальні промені A і B падають на елемент поверхні СПП, яка рухається зі швидкістю V у площині, що містить ці промені (рис. 3). Після відбиття від елемента СПП частота f хвиль змінюється відповідно до закону Доплера [6, 9]:

$$\begin{aligned} f_A &= f \left[1 - \frac{V}{c} (\cos \alpha - \cos \varphi) \right], \\ f_B &= f \left[1 - \frac{V}{c} (\cos \beta - \cos \varphi) \right], \end{aligned} \quad (1)$$

де кути падіння та кут, за якого спостерігається відбите випромінювання, визначені відповідно до рис. 3, а швидкість V вважається значно меншою за швидкість розповсюдження електромагнітних коливань у середовищі c .

Хвилі, розсіяні у напрямі спостереження, формують інтерференційну картину, яка сприймається фотодетектором. При цьому частота змінної складової сили струму на виході фотодетектора залежить від α , β , V і, отже, може використовуватися для визначення миттєвих значень швидкості.

У разі застосування *прямого диференційного методу* ЛДА (рис. 4) випромінювання лазера 1 через коліматор 2 спрямовується на світлоподільний куб 3, у результаті чого, а також за допомогою призми 4, формуються зондувальні промені A і B . Останні спрямовуються на СПП 5, нанесене безпосередньо на металевому елементі, який міститься в каналі ствола. Як відзначено вище, основну потужність розсіяного випромінювання зосереджено у межах тілесних кутів із кутовим розміром θ порядку одиниць градусів (на рис. 4 для наочності просторові діаграми потужності розсіяного випромінювання показано у виді еліпсоїдів). Кутова неузгодженість променів A і B обирається у такий спосіб, щоб виконувалася нерівність $(\alpha - \beta) < \theta$.

На фотоприймач 6 надходить сумарне випромінювання, яке отримують внаслідок відбиття променів A і B . Частота змінної складової сили струму на виході фотодетектора визначається виразом:

$$\Delta f = f_A - f_B = \frac{fV}{c} (\cos \alpha - \cos \beta). \quad (2)$$

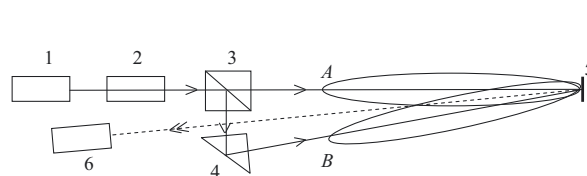


Рис. 4. Схема реалізації прямого диференційного методу

Суттєвим недоліком розглянутих методу і схеми є той факт, що за просторової неузгодженості променів на СПП на відстань порядку радіусу світлової плями і більше (що є неминучим у випадку переміщення СПП убик фотоприймача під час руху металевих елементів) спостерігається швидке падіння амплітуди коливань фотоструму. Це явище не можна пояснити падінням інтенсивності хвиль, що взаємодіють, а є наслідком антенної теореми Зігмана [10]. Така особливість прямого диференційного методу практично унеможлиблює реєстрацію змінної складової фотоструму.

Для подолання цього обмеження запропоновано застосувати *подвійний диференційний метод* ЛДА, реалізацію якого проілюстровано на рис. 5 (позначення позицій на рис. 5 відповідають таким, що уведено для рис. 4).

У цьому випадку сумарне випромінювання, що надходить на фотоприймач 6, формується чотирма хвилями. Першу (AA) отримано у результаті падіння випромінювання з напрямку A і розсіювання його в напрямку A , другу (BB) — падіння з напрямку B і розсіювання у напрямку B . Оскільки різницею кут $(\alpha - \beta)$ міститься усередині кута θ , існує і третя хвиля (AB), що формується у результаті падіння випромінювання з напрямку A і його розсіювання у напрямку B , і четверта (BA) — падіння з напрямку B і розсіювання у напрямку A .

При цьому у спектрі змінної складової фотоструму присутні два максимуми з частотами:

$$\Delta f_1 = \frac{fV}{c} (\cos \alpha - \cos \beta), \quad (3)$$

$$\Delta f_2 = \frac{2fV}{c} (\cos \alpha - \cos \beta). \quad (4)$$

У разі появи просторової неузгодженості променів A і B на СПП для максимуму з частотою Δf_1 (3) характерним є швидке падіння амплітуди коливань фотоструму (як і для випадку реалізації прямого ди-

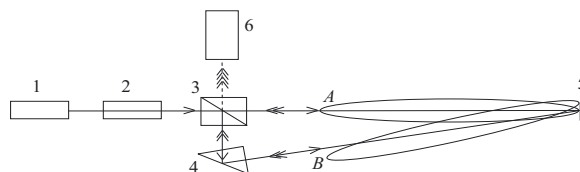


Рис. 5. Схема реалізації подвійного диференційного методу

ференційного методу), але другий максимум Δf_2 (4) характеризується стійкістю амплітуди. Така стійкість амплітуди коливань фотоструму другого максимуму пояснюється особливостями світлоповертання, а саме — постійністю кутів зведення у просторі променів AA і BB на апертурі фотоприймача незалежно від напрямку поширення променів A і B у просторі після світлоподільвача 3 (рис. 5).

Така особливість подвійного диференційного методу дозволяє забезпечити реєстрацію змінної складової фотоструму навіть за наявності просторової неузгодженості променів на СПП за переміщення метального елемента у каналі ствола.

ДОСЛІДНА УСТАНОВКА

Викладені вище теоретичні положення покладено в основу створення дослідної установки для вимірювання швидкості руху метального елемента у каналі ствола.

Дослідну установку побудовано за оптичною схемою, що реалізує подвійний диференційний метод ЛДА (рис. 5). Загальний вид установки наведено на рис. 6, 7.

У складі установки використано гелій-неоновий лазер (не показаний), коліматор 1, світлоподільник 2 та призму 3, за допомогою яких формуються зондувальні промені та задаються кути α , β . На нерухомій монолітній основі 4 розміщено макет зразка стрілецької зброї у складі ствола 5 і електромагнітного пневмоклапана 6. Усередині ствола — металевий елемент, який може вільно рухатися під дією сили тиску стиснутого повітря, що надходить із ресивера 7 під час відкриття пневмоклапана 6. На поверхні метального елемента, зорієнтованій у бік напрямку його руху, закріплено СПП на основі мікроскопуюлок.

Зондувальні промені спрямовуються до метального елемента за допомогою дзеркала 8. Випромінювання, відбите від СПП за допомогою дзеркала 9, надходить крізь фокусувальну лінзу 10 до фотоприймача 11. Частота вихідного сигналу фотоприймача визначається співвідношенням (4) і є пропорційною до швидкості руху метального елемента. Вихідний сигнал фотоприймача реєструється за допомогою цифрового запам'ятовувального осцилографа 12.

Після виготовлення і монтажу дослідної установки виконано серію пробних вимірювань, підтверджено працездатність елементів конструкції та безпечність виконання робіт.

Подальші дослідження спрямовуватимуться на вирішення таких завдань:

1. Побудову математичних моделей, аналіз характеру прояву і оцінювання складових похибки засобу

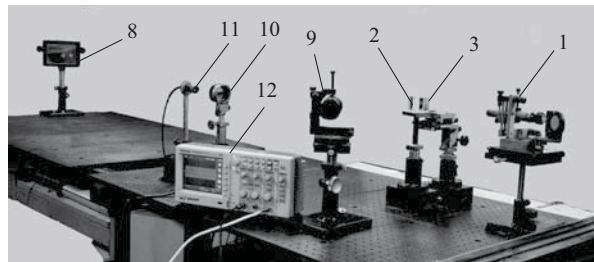


Рис. 6. Дослідна установка (оптична та реєстральна частини)

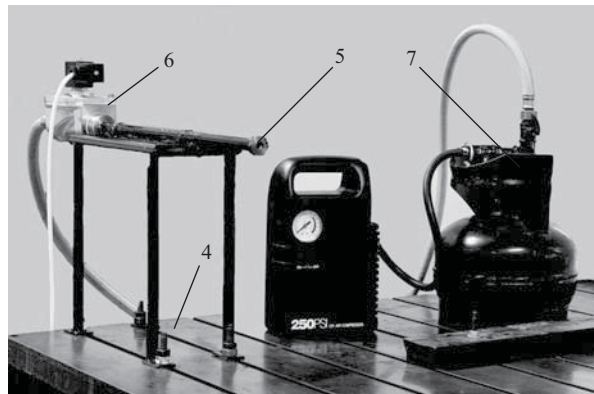


Рис. 7. Дослідна установка (макет зразка стрілецької зброї та пневматична частина)

вимірювання миттєвих значень швидкості руху метального елемента у каналі ствола, експериментальну перевірку адекватності математичних моделей.

2. Оцінку результувальної інструментальної похибки, розроблення способів забезпечення заданої точності вимірювань, обґрунтування рекомендацій із реалізації та застосування засобу вимірювання.


3. Розроблення теоретичних і прикладних основ метрологічного забезпечення засобу вимірювання.

ВИСНОВКИ

Проведено теоретичне й експериментальне дослідження особливостей реалізації методів диференціальної лазерної анемометрії у разі зондування об'єктів із СПП. Обґрунтовано доцільність побудови засобу вимірювання миттєвих значень швидкості руху метального елемента на основі подвійного диференційного методу ЛДА. Запропоновано схему та створено діючий макет установки для дослідження такого методу і засобу вимірювання.

Отримані результати можуть бути покладені в основу подальших робіт зі створення сучасного засобу вимірювання швидкості руху метального елемента у каналі ствола, який дозволить визначати балістичні елементи пострілу експериментальним шляхом за умови забезпечення зростаючих вимог до точності їх отримання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Серебряков М. Е. Внутренняя баллистика [Текст] / М.Е. Серебряков. — М.: Оборониздат ГИОП, 1949. — 469 с.
2. Голомбовский А.К. Теория и расчет автоматического оружия [Текст] / А.К. Голомбовский. — Пенза: ПВАИУ, 1973. — 492 с.
3. Белобрагин В. А. Баллистическое оружие Ижевска // Российский оружейный журнал «Калашников». — 2003. — № 2. — С. 12—17.
4. Крюков О.М., Александров О.А. Дослідна установка для вимірювання миттєвих значень тиску в каналах стволів стрілецької зброї та артилерійських систем // Метрологія та прилади. — 2011. — № 4. — С. 62 — 67.
5. Петренко Е. С. Некоторые технические особенности использования оборудования для измерения скорости пули // Специальная техника. — 2003. — № 1. — С. 31 — 38.
6. Ринкевичюс Б. С. Лазерная диагностика потоков / Под ред. В.А.Фабриканта. — М.: Изд-во МЭИ, 1990. — 88 с.
7. John Lloyd. A brief history of retroreflective sign face sheet materials. The principles of retroreflection. (Електронний ресурс) — Режим доступу: <http://www.rema.org.uk/pdf/history-retroreflective-materials.pdf>.
8. Доля Г. Н., Мазанов В. Г., Надь О. А. Анализ структуры лазерного излучения, рассеянного на световозвращающем покрытии для измерения скорости объекта // Вестник НТУ «ХПИ». Сб. науч. трудов. Серия: «Автомобиль- и тракторостроение». — Харьков: НТУ «ХПИ». — 2012. — № 60 (966). — С. 59—66.
9. Дитчберн Р. Физическая оптика: Пер. с англ. под ред. И. А. Яковлева. — М.: Наука. Главн. ред. физико-математической литературы, 1965. — 631 с.
10. Протопопов В.В., Устинов Н.Д. Лазерное гетеродинамирование / Под ред. Н. Д. Устинова. — М.: Наука, 1985. — 288 с. 



VIII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «ПРОБЛЕМИ ОБЛІКУ ТЕПЛОТИ ТА ВОДИ В УКРАЇНІ» КИЇВ, 04 — 07 ЛИСТОПАДА 2013 РОКУ

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України
Департамент технічного регулювання

ДП «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології,
сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт»)

У конференції передбачається участь фахівців із Білорусі, Молдови, Німеччини, Польщі, Росії, Словаччини, України, Чехії.

Розглядатимуться питання:

- стан нормативної та методичної бази стосовно обліку теплоти та води, шляхи її вдосконалення, гармонізація національних стандартів з міжнародними та європейськими;
- проект змін та доповнень до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність»;
- питання калібрування, повірки та підтвердження відповідності засобів вимірювальної техніки згідно з чинними нормативними документами;
- стан еталонної бази України у сфері метрологічного забезпечення обліку гарячої, холодної води, температури та шляхи її удосконалення;
- стан упровадження та перспективи розвитку приладного обліку теплоти, холодної та гарячої води;
- метрологічна атестація, повірка, калібрування робочих еталонів — проливних установок;
- чинні методично-організаційні документи для визначення та контролю тепловтрат у будівлях, спорудах та їх упровадження;
- упровадження ДСТУ ГОСТ 8.586.1—5:2009 (ISO 5167.1—3:2003) «Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини і газу із застосуванням стандартних звукувальних пристроїв».

Конференція проводитиметься у конференц-залі готелю «МИР» (проспект Голосіївський, 70).

Під час проведення конференції буде влаштовано тематичну виставку приладів.

Адреса оргкомітету:

03680, Україна, м. Київ, вул. Метрологічна, 4
E-mail: iskhakova@ukrcsm.kiev.ua
www.ukrcsm.kiev.ua
тел./факс: (044) 526-53-89
(044) 526-03-89

Вирішення організаційних питань

з проведення конференції доручено

ТОВ «Центр безперервної освіти «Спектр знань»

Директор: Гулько Ярослава Омелянівна
E-mail: spectrzn@ukr.net
тел.: (044) 383-00-75, (067) 456-77-63
тел./факс: (044) 249-43-42, (044) 238-23-81



В. Шелудков, ведущий инженер,
ОАО НПП «Эталон», г. Омск, Россия

Представлены разработанные и освоенные в производстве устройства СВЧ. Приведены их основные технические характеристики.

The article presents microwave devices developed and implemented into production. The paper considers the main characteristics of these devices.

Существует потребность коммутации не только отечественных соединителей СВЧ разных стандартов, но и подключения импортных измерительных приборов и другой импортной аппаратуры к отечественным приборам и аппаратам, соединители которых выполнены по отечественным стандартам и имеют отличающиеся присоединительные размеры и конструкцию. На данном этапе востребованы измерительные переходы и другие устройства СВЧ, удовлетворяющие требованиям подключения соединителей разных стандартов.

На Омском предприятии «Эталон» при их разработке применяется пакет программ, с помощью которого вычисляются электромагнитные поля в трехмерных пассивных структурах произвольной формы, что позволяет с достаточной точностью моделировать ряд устройств СВЧ.

Погрешность, обусловленная неповторяемостью соединителей, величиной $\pm(0,001...0,002)$ по модулю коэффициента отражения, $(1,002...1,004)$ по КСВН, в большинстве случаев практического значения не имеет. Разработанные конструкции коаксиальных переходов, высокое качество используемых материалов и покрытий гарантируют длительную работу устройств с сохранением параметров, что позволяет минимизировать влияние переходов на результаты измерений.

Разработаны и изготовлены согласованные и рассогласованные нагрузки с соединителем типа розетка, короткозамкнутые нагрузки и нагрузки холостого хода, переходы, отрезки воздушных коаксиальных линий различных типов. Внешний вид некоторых устройств приведен на рис. 1—4, параметры — в табл. 1, 2.

Передача размера единицы волнового сопротивления от государственного первичного эталона к рабочим эталонам и далее к рабочим средствам измерений регламентируется Государственной поверочной схемой для средств измерений полного сопротивления в коаксиальных волноводах поперечного сечения 16/4,58; 16/6,95; 7/3,04; 3,5/1,52 в диапазоне частот (0,02 — 18,00) ГГц, МИ 1700-87. На предприятии продолжается производство





Рис. 1.
Переход N(P)-VI(B)



Рис. 2.
Переход N(B)-VI(P)



Рис. 3.
Переход N(B)-IV(P)



Рис. 4.
Нагрузка НРІР 3,0

Табл. 1. Параметры нагрузок

Тип нагрузки	КСВН	Погрешность по КСВН, %	Волновое сопротивление, Ом
НСР	1,0 ± 0,05	± 1,5	50
НРІР 1,2	1,2 ± 0,05	± 1,5	
НРІР 1,4	1,4 ± 0,1	± 1,5	
НРІР 2,0	2,0 ± 0,1	± 2,0	
НРІР 3,0	3,0 ± 0,2	± 3,0	
НСVІР	1,0 ± 0,05	± 1,5	75
НРVІР 1,2	1,2 ± 0,05	± 1,5	
НРVІР 1,4	1,4 ± 0,1	± 1,5	
НРVІР 2,0	2,0 ± 0,1	± 2,0	
НРІР 3,0	3,0 ± 0,2	± 3,0	

рабочих эталонов, отвечающих требованиям государственной поверочной схемы (табл. 3).

Сложность изготовления деталей, определяющих электрические параметры данных устройств, заключается в необходимости в некоторых случаях укладываться в допуски величиной единицы микрон. Изготовление длинных (до 300 мм) цилиндрических каналов высокоточной геометрии при малой шероховатости поверхности требует боль-

Табл. 2. Параметры переходов

Тип перехода	Диапазон частот, ГГц	КСВН, не более
ІІВ-ІІР	0—3	1,6
ІІВ-ІІВ	0—7	1,15
VІІВ-VІІВ	0—3	1,15
N(B)-IV(P)	0—3	1,05
N(P)-VI(B)	0—10	1,05

шой трудоёмкости и тщательности выполнения операций.

Детали устройств изготавливаются из материалов, отвечающих требованиям эксплуатации данных изделий: из нержавеющей стали, бериллиевой бронзы, латуни и т.п. Поверхность металлических деталей покрывается никелем, серебром или золотом, для чего требуется развитая технология нанесения высококачественных металлических покрытий. Опоры (шайбы) изготавливаются из диэлектрического материала, обеспечивающего высокую стабильность и малые потери.

Изделия СВЧ заказывали НПО «Ритм», ПО «Полёт», НПП «Измерительные системы» и ряд других предприятий. ❏

Табл. 3. Наборы мер СВЧ

№ п/п	Наименование изделия	Назначение	Технические условия
1	Набор мер КСВН и полного сопротивления 1 разряда ЭК9-140	Для поверки анализаторов цепей в диапазоне частот (0—4) ГГц. В наборе 8 нагрузок и 4 фазосдвигающих отрезка с соединителями типа III ГОСТ 13317-89	ТУ50-344-82
2	Набор мер полного и волнового сопротивления 1 разряда ЭК9-145	Для поверки анализаторов цепей в диапазоне частот (4—18) ГГц. В наборе 1 согласованная эталонная нагрузка и 9 рассогласованных нагрузок с переменной фазой отражения с соединителями типа III ГОСТ 13317-89	ТУ50-391-83
3	Набор мер комплексного коэффициента передачи ДК2-70	Для поверки анализаторов цепей по модулю и фазе коэффициента передачи. В наборе 5 эталонных аттенуаторов и 5 фазосдвигающих отрезков с соединителями типа III ГОСТ 13317-89	ТУ50-564-86
4	Набор мер КСВН и полного сопротивления 2 разряда ЭК9-180	Для поверки анализаторов цепей в диапазонах частот (0—3) ГГц (75 Ом) и (0—4) ГГц (50 Ом). Набор состоит из 16 нагрузок и 5 фазосдвигающих отрезков с соединителями типа II и VIII ГОСТ 13317-89	ТУ50-390-83

УДК 53.087.4:681.122

УПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ ЗБОРУ ДАНИХ ІЗ ПРИЛАДІВ ОБЛІКУ ГАЗУ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ

С. Шаманов, заступник директора Департаменту з реалізації газу,

О. Глушкова, провідний інженер,

ПАТ «Харківміськгаз»

Обговорюються проблеми контролю показань приладів обліку газу за умов їх установлення всім побутовим споживачам газу. Представлено два шляхи побудови відповідної автоматичної системи збору даних.

The problems of control gas account devices reading are discusses under condition their setting to all household consumers of gas. Two ways of construction of corresponding automatical system are presented.

Чинний з 2011 року Закон України «Про забезпечення комерційного обліку природного газу» №3533-VI від 16.06.2011 вимагає від газорозподільних підприємств установлення до 2018 року приладів обліку всім побутовим споживачам газу (тим, які належать до категорії населення).

Кількість таких споживачів Харкова, забезпечених приладовим обліком, на сьогодні становить близько 108 тисяч. Установлення приладів обліку всім споживачам призведе до збільшення кількості вузлів обліку до 500 тисяч, тобто у 5 разів, що тягне за собою підвищення витрат газорозподільних підприємств, пов'язаних із контролем показань зазначених приладів обліку населення працівниками служби обліку газу.

Вирішити цю проблему можливо шляхом упровадження сучасних автоматичних систем збору даних, призначених для організації доступу до автономних вузлів обліку побутових споживачів. Вони забезпечують:

- отримання оперативної інформації стосовно поточного споживання газу кожним абонентом;
- автоматизацію процесу організації обліку

та складання балансу, формування різних форм звітності, передавання первинних та розрахункових даних до білінгової системи газорозподільного підприємства;

- безперешкодний доступ до показань приладів обліку, зниження впливу людського фактора;
- своєчасне виявлення спроб несанкціонованого втручання у роботу приладів обліку;
- прогнозування пікових навантажень системи газопостачання (підвищення режимів споживання) у зимовий період.

Автоматичну систему збору даних можна побудувати двома шляхами:

- з організацією мережі доставки повідомлень на сервер диспетчерської;
- з віддаленим збором інформації від радіомодулів через інженерний пульт.

1) Передавання даних з організацією мережі (концентратори)

Організація мережі доставки повідомлень передбачає установлення концентратора, що накопичує дані від вузлів обліку та передає їх на сервер дис-

петчерської за GSM-каналом. У штатному режимі система формує із заданою кількістю разів на добу звіт з показаннями приладів обліку, автоматично доставляє його на концентратор мережі й далі на сервер диспетчерської служби. За необхідності можна вручну ініціювати опитування конкретного абонента, групи абонентів або мережі у цілому. Приклад організації мережі наведено на рисунках.

Максимальна ємність мережі — 2000 пристроїв на кожний концентратор. Кількість ретрансляторів не обмежена, кількість рівнів мережі — 254.

Прилади обліку можуть проводити обмін інформацією безпосередньо з концентратором, а у випадках, коли умови передавання є гіршими за допустимі, радіомодулі виконують функції ретрансляторів.

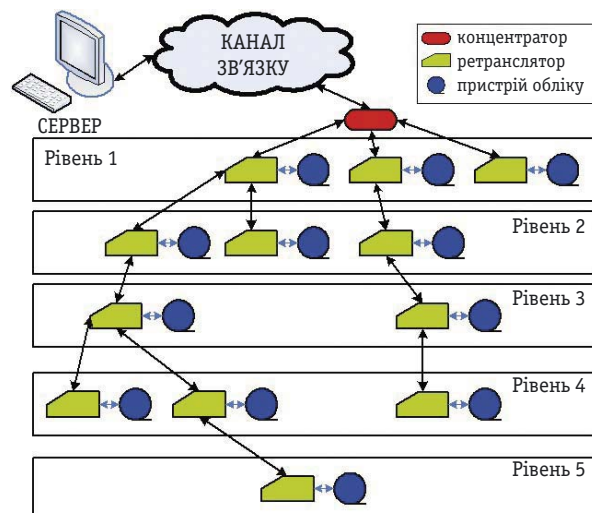
Перевагами GSM-зв'язку є підвищена надійність систем за рахунок можливості зв'язку через кілька базових станцій, дублювання каналів зв'язку, захищеність та якісне передавання даних. Дальність передавання не обмежена і визначається покриттям GSM-зв'язку. Відсутність витрат на побудову та експлуатацію власної системи радіозв'язку дозволяє використовувати радіозв'язок для передавання даних невеликим організаціям, створюючи власну «віртуальну» систему зв'язку за мінімальний термін.

Система складається із:

- * *приладу обліку*, що має можливість підключення електронного зчитувального або відлікового пристрою;

- * *радіомодуля (модуля ретранслятора)*, що підключається за послідовним каналом до електронного лічильника газу або за допомогою лічильника імпульсів до лічильників, які мають герконовий вихід. Електроживлення радіомодуля відбувається від літєвої батареї. Радіомодулі підтримують зв'язок у радіусі до 300 м у зоні прямої видимості та до 40 м у приміщеннях. Радіомодуль легко приєднується до лічильника, не потребує додаткових робіт із налагодження та конфігурування системи, все виконується автоматично;

- * *концентратора мережі ретрансляторів*, побу-



дованого на базі уніфікованого модуля GSM-зв'язку. Концентратор встановлюється в центрі мережі та забезпечує збір, зберігання та доставку на сервер даних від усіх радіомодулів мережі. Дані зберігаються в енергонезалежній пам'яті та передаються на сервер диспетчерської служби за стандартним GSM каналом із заданою періодичністю або примусово, за запитом. Енергонезалежна пам'ять у концентраторі дозволяє накопичувати дані від вузлів обліку за 2 останні місяці за відсутності зв'язку з диспетчерським пунктом. З боку диспетчерського пункту зв'язок з концентратором здійснюється за допомогою стандартного GSM-модема. Окрім передавання інформації за GSM-каналом, може використовуватися пряме підключення до концентратора за допомогою ноутбука або пристрою перенесення інформації. Модулі концентраторів забезпечені комплектом



безперебійного живлення на змінних акумуляторах. За неможливості підключення концентратора до мережі стаціонарного живлення, забезпечення його енергією здійснюється за допомогою сонячних батарей.

2) Передавання даних без організації мережі (інженерний пульт)

Робота системи без організації мережі передбачає обов'язкову наявність інженерного пульта, що здійснює віддалений доступ до радіомодуля, встановленого на вузлі обліку. Інженерний пульт є переносним пристроєм для зняття та збереження інформації. У такому режимі для отримання інформації стосовно показань лічильників необхідно періодично опитувати з близької відстані всі радіомодулі (ретранслятори) за допомогою інженерного пульта та передавати отримані дані з пульта на сервер.

Збір даних за допомогою інженерного пульта передбачає наявність непов'язаних між собою радіомодулів, наприклад, віддалених приватних домоволодінь, у край забрудненого радіоефіру. Зв'язок з конкретним радіомодулем здійснює обхідник (контролер) за допомогою інженерного пульта з автономним джерелом живлення. Обхідник має перебувати у зоні радіовидимості радіомодуля (приладу обліку), з якого знімає показання. Інформація з приладів обліку зчитується у пам'ять пульта, а зв'язок з сервером диспетчера здійснюється вже за допомогою стандартних промислових інтерфейсів.

Зняття показань за допомогою інженерного пульта за відкритим радіоканалом має ряд переваг:

- можливість обходу більшої кількості споживачів без збільшення штату контролерів (відсутня необхідність відвідування кожної окремої квартири чи приватного будинку);
- можливість зняття показань навіть за відсутності споживача вдома або розміщення лічильників у важкодоступних місцях, тобто забезпечення 100 % зняття показань;
- автоматичне зняття показань підвищує надійність даних та значно прискорює їх отримання. Наприклад, зняття показань приладів обліку

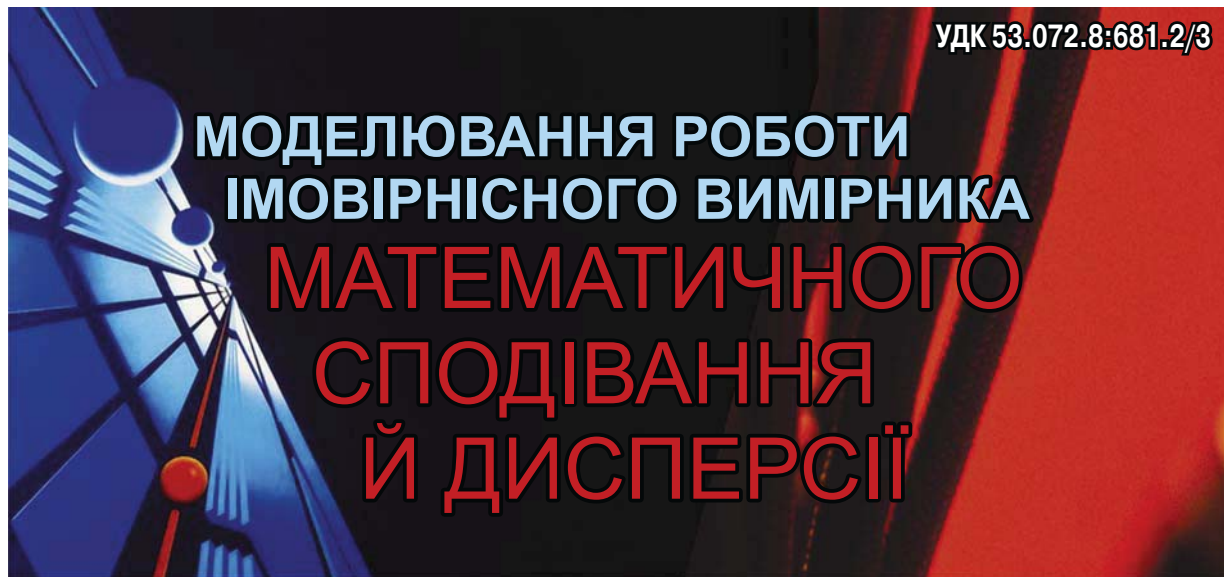
72 квартир багатопверхівки триватиме близько 20—25 хвилин.

За встановлення приладів обліку газу в опалювальному приміщенні проблем у роботі радіомодуля, як правило, не виникає. Незначним недоліком може стати наявність наведень від автоматичних систем збору даних інших постачальників енергоносіїв (тепла, електроенергії), якщо такі системи є присутніми у газифікованому будинку, хоча виробники і гарантують захищеність каналу передавання даних. У випадках встановлення приладів обліку поза приміщенням (у приватних будинках) виникає проблема швидкого розрядження батарей живлення радіомодуля та функціонування радіомодуля в цілому за низьких температур.

Із встановлених на сьогодні у побутових споживачів приладів обліку лише лічильники «Самгаз» виробництва ТОВ «Самгаз» (У715-12), «ВК» виробництва фірми «Elster s.r.o.» (У561-12), «Metrix» виробництва фірми APATOR METRIX S.A. (У495-12), нові моделі лічильників «Gallus-2000-U» виробництва ПрАТ «Айтрон-Укргаз метерс компанії» (У483-12) та «Октава» з позначкою «І» виробництва ДП «Завод «Генератор» (У2116-12) мають можливість підключення пристрою зняття інформації та роботи у системі автоматичного збору даних. Більшість побутових лічильників, що знаходяться в експлуатації в Україні, не обладнані формувачами імпульсів та не мають можливості їх встановлення.

Наразі в Україні проводяться випробування та дослідне упровадження автоматичних систем різних виробників (СП «Радміртех», ТОВ «Самгаз»), які демонструють зручність та технологічність зняття показань лічильників як у багатоквартирних будинках, так і у невеличких селищах з приватними будинками.

Автоматична система збору даних у побутових споживачів у найближчому майбутньому має стати для газорозподільного підприємства частиною єдиної багаторівневої системи збору та опрацювання даних від вузлів обліку всіх категорій споживачів (промисловості, комунально-побутових об'єктів, підприємств ПЕК, населення). ■



О. Скрыбіна, завідувач кафедри комп'ютеризованих систем,
Севастопольський національний університет ядерної енергії та промисловості

Побудовано математичні моделі опрацювання складних багатofакторних сигналів, що надходять із первинних перетворювачів і мають випадковий характер, проведено їх експериментальну перевірку. Показано, що швидкісні й точнісні характеристики імовірнісного вимірювача математичного сподівання (МС) і дисперсії знаходяться на рівні цифрового, а показники витрат устаткування, енергоспоживання, надійності та завадостійкості є вищими.

The analysis of mathematical models for the processing of random complex multifactorial physical signals with the help of a probabilistic measured is implemented for experimental verification of the theoretical results. The result has revealed that speed and accuracy of the probabilistic measurer of mathematical expectation and dispersion are not inferior to the characteristics of a digital measurer. Concerning equipment costs, power consumption and reliability the probabilistic measurer greatly exceeds the digital one. Concerning noise-immunity the probabilistic measurer is significantly better than the digital one.

Вимірювання й опрацювання інформації у спеціалізованих інформаційно-вимірювальних системах (ІВС) атомної енергетики, що включає безпосередньо вимірювання параметрів і розв'язання різноманітних розрахунково-аналітичних задач і задач управління, передбачає вимірювання й опрацювання складних багатofакторних сигналів, що надходять із первинних перетворювачів і мають випадковий характер.

У більшості випадків у процесі аналізування випадкових процесів виявляється достатнім визначити перший і другий початкові та центральний моменти вимірюваного випадкового сигналу.

Найбільший інтерес під час вивчення цього питання, представляє алгоритмічне опрацювання інформації, поданої в імовірнісній формі. Для експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів необхідні побудова й аналіз математичних моделей імовірнісних вимірювальних контролерів (ІВК).



РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ

Для ергодичних стаціонарних випадкових сигналів $X(t) = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N\}$, квантованих за часом відповідно до теореми Котельникова, вираз для оцінювання МС має вид [1]:

$$\{M[X(t)]\}^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i. \quad (1)$$

За однолінійного однополярного імовірнісного перетворення кожне значення x_i замінюється відповідним імовірнісним відображенням, оцінення якого [2]:

$$x_i^* = \frac{1}{K} \sum_j^K y_{ij}, \quad (2)$$

де y_{ij} — член імовірнісного відображення.

Підставимо вираз (2) у (1) (для спрощення запису замінюємо $\{M[X(t)]\}^*$ на m_x^*). Тоді, за імовірнісної форми представлення інформації маємо:

$$m_x^* = \frac{1}{NK} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K y_{ij}. \quad (3)$$

Відповідно до виразу (3) для вимірювання й алгоритмічного обчислення МС достатньо здійснити лінійне імовірнісне перетворення вимірюваного випадкового сигналу $X(t)$ [3], просумувати члени ймовірнісного відображення на інтервалі вимірювання й віднести отримане значення до добутку об'єму вибірки N на кількість членів імовірнісного відображення K .

Структурно-функціональну схему ймовірнісного вимірника МС, що реалізує алгоритм (3), наведено на рис. 1.

Принцип роботи цієї схеми такий:

- вимірюваний сигнал $X(t)$ випадкового представлення надходить на імовірнісний перетворювач, що тактується від генератора тактових імпульсів G ;
- із виходу перетворювача імовірнісне відображення $Y(t)$ через відкритий вентиль & надходить у лічильник m_x^* , де перетворюється на двійковий позиційний код;
- за переповнення лічильника NK вентиль закривається, й інформація стосовно оцінення надхо-

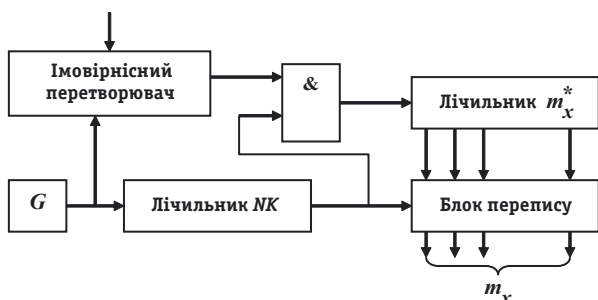


Рис. 1. Структурно-функціональна схема імовірнісного вимірника МС

дить до адресата МС у виді двійкового числа через блок перепису.

Основна перевага такої схеми перед «класичною» цифровою полягає у заміні багаторозрядного суматора двійкових чисел на накопичувальний лічильник. При цьому є вигравш за витратами устаткування, енергетичними характеристиками й у підвищенні завадостійкості [2].

Теоретичне аналізування точнісних і швидкісних характеристик наведено у роботах [4, 5], відповідно до яких основними джерелами методичних похибок під час вимірювання імовірнісних характеристик є:

- кінцева довжина ряду вимірюваних реалізацій;
- квантування вимірюваного випадкового сигналу за амплітудою;
- імовірнісне перетворення вихідного сигналу.

Як відомо [1], середньоквадратичне відхилення (СКВ) вимірювання МС, обумовлене кінцевим інтервалом вимірювання вхідного сигналу:

$$\sigma_{\text{др}}(m_x^*) = \sigma_x / \sqrt{N}. \quad (4)$$

У процесі квантування вимірюваного сигналу за амплітудою замість істинного миттєвого значення випадкового сигналу береться значення найближчого дискретного рівня. Відомо, що значення похибки, обумовленої квантуванням за амплітудою, прямує до нуля за правильного вибору вихідної характеристики квантувача [5].

СКВ, обумовлене імовірнісним перетворенням, визначається через дисперсію оцінення МС:

$$D_{\text{ш}}(m_x^*) = \frac{1}{N^2 K^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K D(y_{ij}) = \frac{1}{NK} \sum_l^2 (y_l - m_x)^2 P_l = \frac{m_x(1 - m_x)}{NK},$$

звідки:

$$\sigma_{\text{ш}}(m_x^*) = \sqrt{D_{\text{ш}}(m_x^*)} = \sqrt{\frac{m_x(1 - m_x)}{NK}}. \quad (5)$$

Той факт, що у знаменнику виразу стоїть добуток об'єму вибірки N на кількість статистичних випробувань K (NK), свідчить, що останнє СКВ різко зменшується зі збільшенням N .

СКВ, обумовлені кінцевою довжиною ряду й імовірнісним перетворенням, є у загальному випадку залежними, і у зв'язку з цим повне СКВ вимірювання МС ІВК, за правильного вибору характеристики квантувача за амплітудою на інтервалі вимірювання, дорівнює сумі цих СКВ:

$$\sigma_{\text{п}}(m_x^*) = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} + \sqrt{\frac{m_x(1 - m_x)}{NK}}. \quad (6)$$

На рис. 2 наведено графік, який відображає залежність (6) для випадкового сигналу $X(t)$, що має рівномірний закон розподілу, за різних значень обсягу

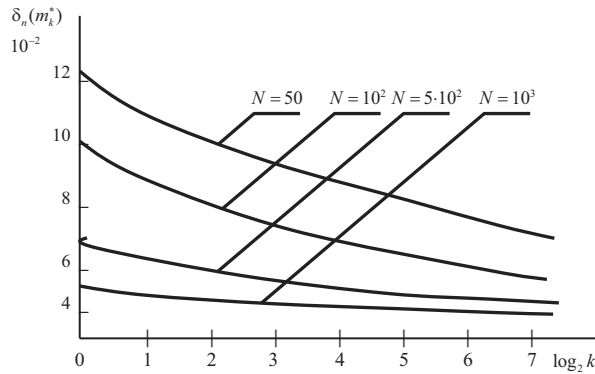


Рис. 2. Залежність середньоквадратичної похибки вимірювання МС від числа статистичних випробувань

вибірки в логарифмічному виді ($\log_2 k$). Із нього видно, що вже за $N = 10^3$ значення $\delta_{\Pi}(m_x^*)$ практично не залежить від кількості статистичних випробувань.

Відхилення вимірювання МС від його оцінен-
ня можна визначити через абсолютну похибку $\Delta = |m_x^* - m_x|$. Для цього необхідно знати закон розподілу m_x^* . Відповідно до (3) m_x^* є сумою незалежних випадкових величин y_{ij} . Тоді, на підставі центральної граничної теореми, вже за $NK \geq 20$ закон розподілу оцінення є близьким до нормального, і значення абсолютної похибки

$$\Delta_{\Pi} = \sqrt{2}\Phi^{-1}(P)\sigma_{\Pi}(m_x^*), \quad (7)$$

де P — імовірність того, що дійсне значення МС опиниться усередині інтервалу:

$$I_P = (m_x^* - \Delta_{\Pi}; m_x^* + \Delta_{\Pi}). \quad (8)$$

Для спрощення формули (7) позначимо у виді $t_P = \sqrt{2}\Phi^{-1}(P)$. Тоді розрахункова формула для абсолютної похибки вимірювання МС, обумовленої кінцевим інтервалом вимірювання величини m_x^* із кінцевим обсягом вибірки й імовірнісним перетворенням опрацьовуваного сигналу має вид:

$$\Delta_{\Pi} = t_P \sigma_{\Pi}(m_x^*) = \frac{t_P \sigma_x}{\sqrt{N}} + \sqrt{\frac{t_P^2 m_x (1 - m_x)}{NK}} = \Delta_{\text{ДР}} + \Delta_{\text{П}}. \quad (9)$$

Внесок $\Delta_{\text{ДР}}$ і $\Delta_{\text{П}}$ до повної абсолютної похибки вимірювання МС для випадків нормального й рівномірного розподілу $X(t)$ наведено на рис. 3. Із графіка (рис. 3) видно, що, незалежно від обсягу вибірок вимірюваного випадкового сигналу $X(t)$ і практично незалежно від закону його розподілу, Δ_{Π} перевищує похибку кінцевої довжини ряду лише за $K = 1, 2$. За $K \approx 4$ ці похибки є порівняними, а у разі подальшого збільшення кількості статистичних випробувань $\Delta_{\text{П}}$ стає значно меншим $\Delta_{\text{ДР}}$.

Отже, на підставі зазначеного вище, можна зробити такі висновки:

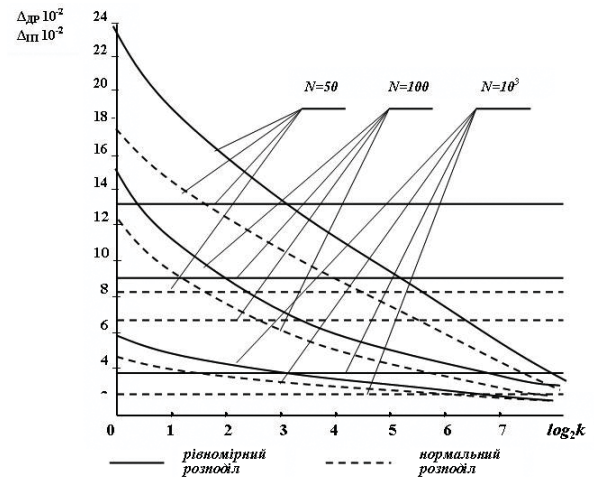


Рис. 3. Внесок абсолютних похибок $\Delta_{\text{ДР}}$ і $\Delta_{\text{П}}$ до повної абсолютної похибки вимірювання МС

➤ швидкісні й точнісні характеристики ймовірнісного вимірника МС перебувають на рівні цифрового рівня;

➤ показники витрат устаткування, енергоспоживання й надійності значно перевищують показники цифрового рівня;

➤ показники завадостійкості, за рахунок інтегрування завади на інтервалі перетворення, перевищують показники цифрового рівня.

Вираз для обчислення оцінення дисперсії за ймовірнісної форми подання інформації має вид [4]:

$$D_x^* = \frac{1}{N} \left\{ \frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{K-1} [y_{ij} \& y_{i(j-1)}] - \frac{1}{NK^2} \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K y_{ij} \right]^2 \right\}.$$

Структурно-функціональну схему ІВК, до складу якого входить ймовірнісний дисперсиометр, наведено на рис. 4.

Похибка вимірювання квадратичних характеристик ІВК визначається за тією ж методикою, що й для МС. Так, СКВ, обумовлені кінцевою довжиною ряду та його ймовірнісним перетворенням, представляються як:

$$\sigma_{\text{ДР}} [M(x^2)]^* = \sqrt{\frac{M(x^4) - [M(x^2)]^2}{N}},$$

$$\sigma_{\text{П}} [M(x^2)]^* = m_x \sqrt{\frac{1 - m_x^2}{NK}}.$$

Відповідно:

$$\Delta_{\Pi} = t_P \left\{ \sigma_{\text{ДР}} [M(x^2)]^* + \sigma_{\text{П}} [M(x^2)]^* \right\}. \quad (10)$$

Як і у випадку вимірювання МС, видно, що внесок похибки ймовірнісного перетворення до загальної похибки зі збільшенням обсягу вибірки помітно зменшується.

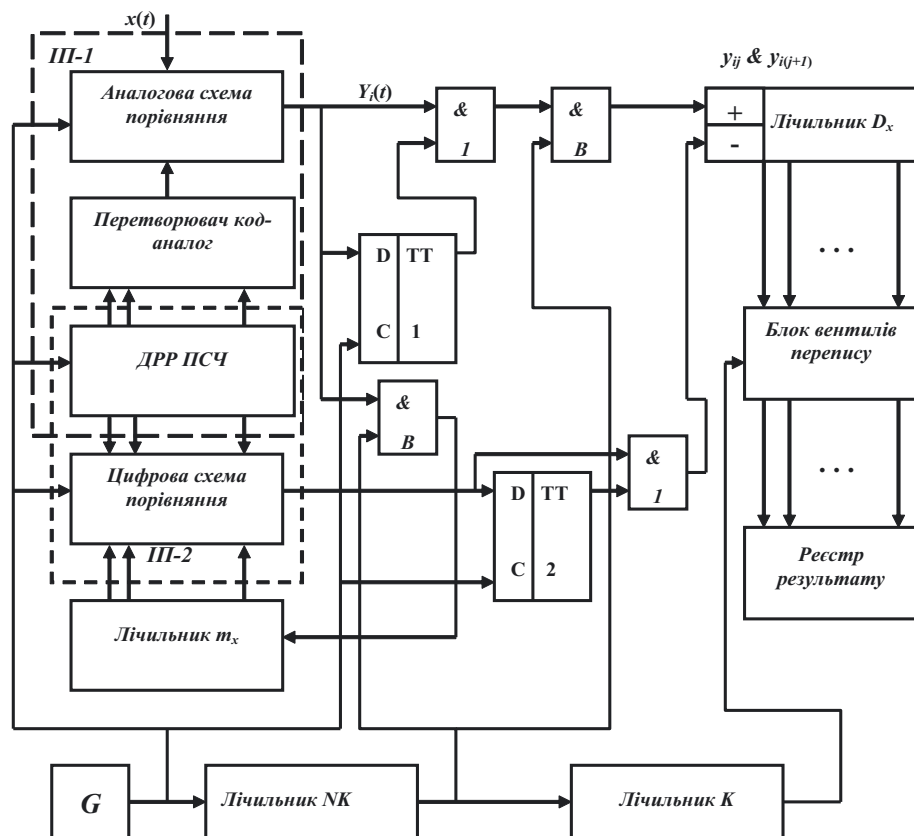


Рис. 4. Структурно-функціональна схема комплексного вимірювального контролера

Для перевірки теоретичних висновків побудовано аналітичну модель ІВК, в основу якої покладено вирази (3)–(10), розроблено програмний продукт у середовищі візуального програмування Builder C++ 6.0.

Аналізування роботи моделі виконано за різних обсягів вибірки N і кількості членів ймовірнісного перетворення K . На рис. 5 показано залежність похибки обчислення МС від кількості випробувань (членів ймовірнісного перетворення) за фіксованого значення розміру вибірки $N = 1000$. Видно, що похибка різко зменшується зі збільшенням K .

Аналогічна ситуація спостерігається й у випадку вимірювання дисперсії сигналу (рис. 6).

На рис. 7, 8 представлені графіки залежності

похибок вимірювання статистичних характеристик сигналу цифровим та ймовірнісним методами. Ймовірність, що істинні значення абсолютних похибок не вийдуть за межі довірчого інтервалу, прийнято рівною 0,99 ($P = 0,99$).

Аналізування залежностей, представлених на рис. 5–8, дозволяє зробити такі висновки:

* у випадку максимальної швидкодії ($K = 1$) похибка вимірювання дисперсії за ймовірнісного перетворення вхідного сигналу стає достатньо малою за обсягу вибірки N порядку 800 ($N \approx 800$) і більших, але при цьому все-таки перевершує аналогічну характеристику для цифрового дисперсиометра;

* навіть за $K = 100$ похибка ймовірнісного методу перевищує похибку цифрового, що суттєво знижує частотний діапазон дисперсиометра або зменшує швидкість його роботи у реальному масштабі часу.

Для перевірки результатів аналітичного моделювання побудовано імітаційну модель вимірника М0, дисперсиометра й обчислювача середньої повної потужності.

Аналізування отриманих результатів імітаційного моделювання й аналітичної моделі проведено із застосуванням статистичного опрацювання результатів моделювання й представлено на рис. 9.



Рис. 5. Залежність похибок обчислення МС від кількості випробувань K



Рис. 6. Залежність похибки обчислення дисперсії від кількості випробувань K

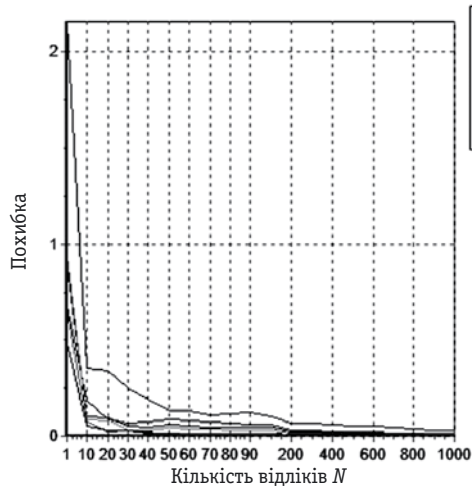


Рис. 7. Графіки залежності абсолютної похибки вимірювання МС від обсягу вибірки й кількості випробувань

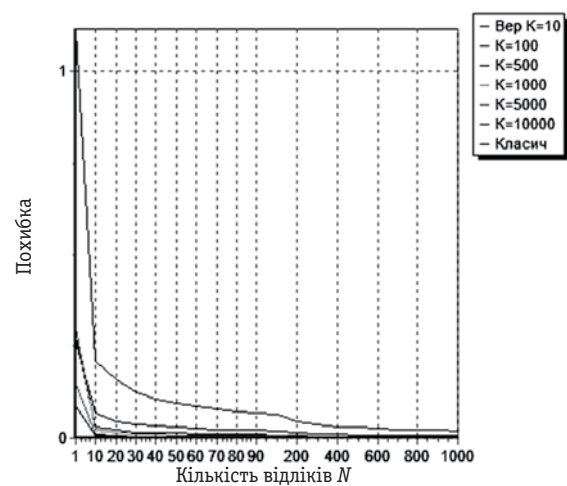


Рис. 8. Графіки залежності абсолютної похибки вимірювання дисперсії від обсягу вибірки й кількості випробувань

ВИСНОВКИ

Експерименти з аналітичною й імітаційною моделями ІВК для визначення першого й другого моментів випадкового сигналу показали хороший збіг результатів, що дозволяє вважати отримані теоретичні результати коректними.

Завадостійкість, апаратний обсяг і супутні йому характеристики (енергоспоживання, габарити, радіаційна стійкість тощо) ІВК є на порядок кращими, ніж у цифрових аналогів.

Під час вимірювання імовірнісних характеристик стаціонарних випадкових сигналів точність

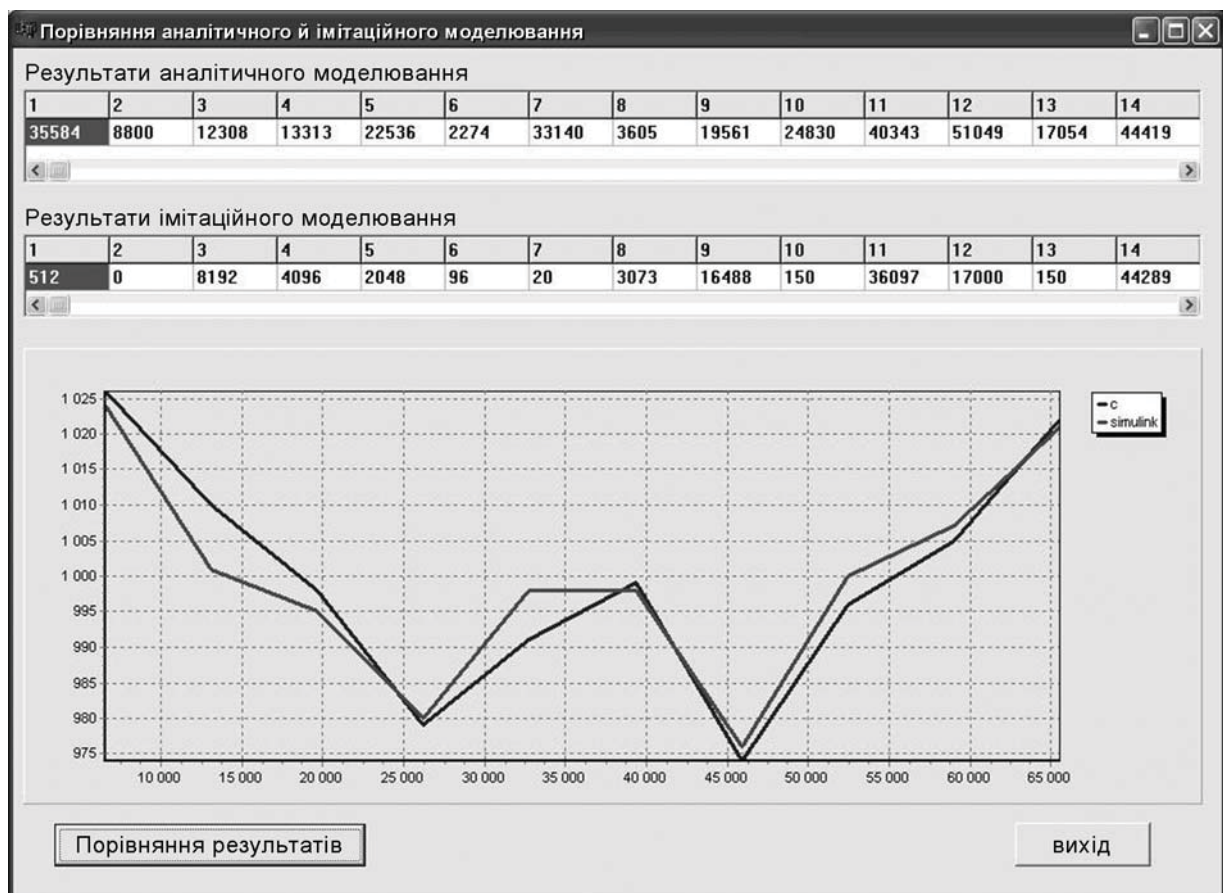


Рис. 9. Результат порівняння модельних експериментів на аналітичній та імітаційній моделях


їх вимірювань є близькою до точності цифрових контролерів у всьому частотному діапазоні вимірювань.

За роботи з нестаціонарними випадковими сигналами існує зворотний зв'язок між точністю й швидкістю; за роботи у реальному масштабі часу точність, порівняна із цифровими контролера-

ми, може бути досягнута лише у діапазоні частот (0 — 1,0) МГц.

Запропоновані ІВК доцільно застосовувати у складі ІВС на АЕС у виді територіально сполучених з первинними вимірювальними перетворювачами ІВК для скорочення надмірності інформації, що передається на ЦПУ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лившиц Н.А., Пугачёв В.Н. Вероятностный анализ систем автоматического управления: В 2 т. — М.: Советское радио, 1963. — Т. 1. — 896 с.
2. Сапожников Н.Е. О вероятностном преобразовании информации // Приборостроение. — 1983. — Вып. 34. — С. 31 — 38.
3. Сапожников Н.Е. Методы получения вероятностных отображений сигналов / Н.Е.Сапожников, Е.В.Скрябина // Севастополь: СВМИ, 1994. — 7 с. — Деп. В ДНТБ Украины 15.08.94. — № 1700. — Ук 94.
4. Скрябина Е.В. Оценка точности представле-
- ния данных в метрологических цифровых и вероятностных контроллерах на основе математической модели // Е.В. Скрябина, О.Д. Чужикова-Проскурнина // Управление, автоматизация и управляющая среда: Мат. III Межд. научно-технической конференции. — Севастополь, 14—17 мая 2012 года. — С. 154—155.
5. Сапожников Н.Е. К вопросу о погрешности измерения математического ожидания цифро-вероятностными процессорами // Приборостроение. — 1974. — Вып. 16. — С. 15 — 22. 


НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОМІСІЯ З МЕТРОЛОГІЇ МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ НА СВОЄМУ ЗАСІДАННІ 26.06.2013 УХВАЛИЛА:

Рекомендувати уповноважити на проведення повірки засобів вимірювальної техніки:

- повірочну лабораторію відокремленого підрозділу локомотивного депо Шепетівка ДТГО «Південно-західна залізниця»;
- повірочну лабораторію відокремленого підрозділу «Локомотивне депо Гребінка» ДП «Південна залізниця»;
- повірочну лабораторію Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології;
- швидкостемірне відділення відокремленого підрозділу «Локомотивне депо Смородине» ДП «Південна залізниця»;
- групу з метрологічного забезпечення виробничо-вимірювальної лабораторії Харківської дирекції УДППЗ «Укрпошта»;
- повірочну лабораторію відокремленого структурного підрозділу «Локомотивне депо Пологи» ДП «Придніпровська залізниця»;
- повірочну лабораторію Сумського обласного центру з гідрометеорології;
- сектор метрологічного забезпечення підприємств целюлозно-паперової промисловості приватного акціонерного товариства «Інститут паперу»;
- повірочну лабораторію відокремленого структурного підрозділу «Запорізьке моторвагонне депо» ДП «Придніпровська залізниця»;
- повірочну лабораторію відокремленого структурного підрозділу «Нікопольське моторвагонне депо» ДП «Придніпровська залізниця».

Також рекомендовано розширити галузь уповноваження (атестації) на проведення повірки ЗВТ (за результатами експертизи документів):

- ДП «Чернігівстандартметрологія»;
- ДП «Донецькстандартметрологія»;
- ДП «Кривбасстандартметрологія»;
- Кременчуцькій філії ДП «Полтавастандартметрологія»;

атестувати на проведення вимірювання у сфері та/або поза сферою поширення державного метрологічного нагляду ДП «Буковинастандартметрологія». 

ХАРКІВСЬКА ФІЛІЯ ДП «УкрНДНЦ»

Харківська філія ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» проводить підвищення кваліфікації державних повірників, повірників метрологічних служб підприємств та організацій, фахівців калібрувальних, випробувальних та вимірювальних лабораторій, метрологічних служб підприємств, а також спеціалістів, які працюють у напрямках стандартизації, сертифікації та управління якістю. Після успішного закінчення курсу слухачі отримують посвідчення чи посвідчення із сертифікатом ДП «УкрНДНЦ», що засвідчує підвищення кваліфікації фахівців.

План набору слухачів на вересень-грудень 2013 року

Ч/ч	Курс	Період навчання
	1. Підвищення кваліфікації фахівців повірочних та калібрувальних лабораторій з перевірки та калібрування засобів вимірювальної техніки:	
1.1	геометричних величин	09.12 — 20.12
1.4	температури, тиску, витрати	11.11 — 22.11
1.4.1	температури, тиску	11.11 — 22.11
1.5	електричних величин	30.09. — 11.10
1.5.1	електричних величин на залізничному транспорті	у міру комплектування, 1 тиждень
1.6	радіотехнічних величин	30.09 — 11.10
1.6.1	радіотехнічних величин на залізничному транспорті	у міру комплектування, 1 тиждень
1.7	газоаналізаторів	28.10 — 01.11
	2. Підвищення кваліфікації фахівців за курсами:	
2.1	Забезпечення єдності вимірювань на підприємстві	14.10 — 25.10
2.1.1	Забезпечення єдності вимірювань на підприємстві (для метрологів з досвідом роботи)	23.09 — 27.09
2.2	Метрологічна експертиза технічної документації	14.10 — 25.10
2.3	Забезпечення єдності вимірювань при проведенні контролю колісних транспортних засобів	у міру комплектування, 1 тиждень
2.3.1	Забезпечення єдності вимірювання димності відпрацьованих газів двигунів автомобілів згідно з ДСТУ 4276:2004	14.10 — 18.10; 28.10 — 01.11
2.4	Розробка та атестація методик виконання вимірювань. Оцінка невизначеності вимірювань	14.10 — 18.10; 28.10 — 01.11; 04.11 — 08.11
2.5	Забезпечення єдності вимірювань в калібрувальних та вимірювальних лабораторіях	14.10 — 18.10
2.6	Забезпечення єдності вимірювань в закладах охорони здоров'я	у міру комплектування, 1 тиждень
2.7	Технічне регулювання в Україні	у міру комплектування, 1 тиждень
2.9	Забезпечення відповідності калібрувальних та вимірювальних лабораторій критеріям атестації в ДМС, підготовка до атестації	14.10–18.10
2.10	Розробка і впровадження систем управління якістю	28.10 — 01.11
2.11	Забезпечення функціонування систем управління якістю та проведення внутрішнього аудиту	28.10 — 01.11
2.13	Проведення вимірювань та випробувань електротехнічними лабораторіями	25.11 — 29.11; 02.12 — 06.12
2.15	Вимоги до калібрувальних та випробувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Внутрішній аудит в лабораторіях	04.11 — 08.11
2.15.1	Вимоги до калібрувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Оцінювання невизначеності вимірювань під час калібрування ЗВТ	04.11 — 08.11
2.15.2	Вимоги до випробувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Оцінювання невизначеності вимірювань під час випробування продукції	04.11 — 08.11
2.16	Забезпечення єдності вимірювання та обліку витрат енергоносіїв	25.11 — 29.11
2.17	Забезпечення єдності вимірювань ВК ВІС та АСК ТП	01.07 — 12.07; 14.10 — 25.10
2.18	Внутрішній аудит в лабораторіях за ДСТУ ISO/IEC 17025:2006	04.11 — 08.11
2.19	Тепловізійні вимірювання. Тепловізійні методи контролю і діагностика	25.11 — 29.11; 02.12 — 06.12
	3. Підвищення кваліфікації фахівців на базі підприємства-замовника:	
3.1	За заявою підприємства	за узгодженням
	4. Проведення тематичних семінарів:	
4.1	Особливості забезпечення єдності вимірювань в сучасних умовах	22.10 — 23.10

Заявки на навчання надсилати на адресу Харківської філії ДП «УкрНДНЦ» або факсом. **Комплектування додаткових груп проводиться на замовлення підприємств.** За вимогою підприємств надсилаємо інформаційні листи з тематикою окремих курсів навчання.

Харківська філія ДП «УкрНДНЦ» співпрацює з Органом з сертифікації персоналу калібрувальних та вимірювальних лабораторій. Випускники Харківської філії ДП «УкрНДНЦ» мають можливість додатково отримати сертифікати компетентності фахівців, які визнають під час акредитації лабораторій.